UNIVERSITY OF ILLINOIS
LIBRARY

Class 506
Book BSBSER.4 1904
Volume v.6

Ja 09-20M PERIODICALS

Return this book on or before the **Latest Date** stamped below. A charge is made on all overdue books.

University of Illinois Library

3-12-52

MAR 31 1952

MAR 21 1957

BUILDING USE ONLY

OCT 7 1974

OCT 7 1974

L161—H41

BULLETINS

DE LA

CLASSE DES SCIENCES

ACADÉMIE ROYALE DE BELGIQUE

BULLETINS

DE LA

CLASSE DES SCIENCES

1904

BRUXELLES
HAYEZ, IMPRIMEUR DE L'ACADÉMIE ROYALE DE BELGIQUE
Rue de Louvain, 112

1904

506
BS BS
1904

Discours prononcé par M. P. Mansion, comme Président de l'Académie en 1903, lors de la réception au Palais le 1er janvier 1904.

UNIVERSITY OF ILLINOIS LIBRARY

SIRE,

L'Académie royale des sciences, des lettres et des beaux-arts est heureuse d'offrir à Votre Majesté et à la Famille royale, à l'occasion du renouvellement de l'année, l'hommage respectueux de ses vœux de bonheur et celui de son profond dévouement.

Nulle part, on ne sait mieux qu'à l'Académie,

143147

tout ce que la Belgique doit à la royauté, gardienne de ses libertés et de son indépendance. Nos savants confrères de la Classe des lettres, en fouillant dans les archives du passé, ont mis dans une saisissante lumière les misères de notre patrie sous la domination étrangère. Nos souverains d'autrefois, trop éloignés de nous et trop occupés d'intérêts plus importants, ont été impuissants à nous protéger contre des rivaux jaloux d'étouffer chez nous toute velléité d'expansion commerciale. La barrière de nos places fortes a été longtemps défendue par des mercenaires, imposés par l'étranger et presque aussi redoutables que des ennemis pour nos populations frémissantes. Et cependant, à la même époque, en Allemagne et ailleurs, nos vieux régiments nationaux se couvraient de gloire sur vingt champs de bataille; mais cette gloire n'entrait pas dans le patrimoine de la gloire nationale : Tilly et ses héroïques Wallons étaient plus populaires en Bavière qu'en Belgique.

Il n'en est plus ainsi depuis que nous avons

recouvré notre indépendance. Nous savons tous aujourd'hui ce que nous devons de sécurité et de grandeur à nos souverains belges de cœur et d'âme. La Famille royale, comme on le disait ici même l'an dernier, est de plus en plus le symbole d'un heureux passé et la sauvegarde de l'avenir.

Grâce à la sagesse de son premier Roi, qui fut pour elle un guide expérimenté, habile et discret, la Belgique a montré à l'Europe qu'elle était digne de son indépendance et de ses libertés, et elle a déployé l'activité la plus féconde dans tous les domaines : industrie, agriculture, commerce, travaux publics, sciences, lettres et beaux-arts.

Sous le règne de Votre Majesté, la Belgique a fait un nouveau pas en avant, elle a affirmé plus haut et plus loin sa vitalité nationale. Grâce à la magie de l'exemple venu d'en haut, les Belges ont peu à peu retrouvé cet esprit d'entreprise, audacieux sans témérité, qui avait distingué leurs ancêtres à l'époque des croisades : Nos vaillants officiers, sous la direction hardie et prudente de

Votre Majesté, ont mené à bonne fin, en peu d'années, cette tâche en apparence irréalisable, la suppression de la traite au centre de l'Afrique, et ont ainsi rendu possible et prochaine, la civilisation chrétienne du continent noir. Nos ingénieurs construisent des chemins de fer en Chine; nos ouvriers fabriquent du fer en Russie. Bientôt sans doute, une flotte commerciale, dont les navires auront été construits en Belgique, d'après les principes enseignés dans nos hautes écoles techniques, sillonnera toutes les mers sous pavillon belge, portant sur tous les rivages les produits de nos industries nationales.

La prospérité inouïe dont la Belgique a joui sous ses deux premiers Souverains, et à laquelle Ils ont si largement contribué, se traduit par deux chiffres : depuis 1830, la population a doublé, la vie moyenne s'est accrue de moitié. Deux faits providentiels en assurent la continuation : la découverte du bassin houiller de la Campine, l'extension coloniale de la Belgique au Congo.

SIRE,

Le vœu le plus cher de l'Académie est que Votre Majesté puisse, pendant de longues années encore, présider aux destinées de la patrie toujours prospère, et à celle de la colonie qu'Elle lui a préparée avec tant de sollicitude.

MONSEIGNEUR,

Nous associons à ces vœux, ceux que nous faisons pour le bonheur de Votre Altesse Royale et pour celui de S. A. R. Madame la Princesse Élisabeth de Belgique et des Princes Léopold et Charles-Théodore.

ACADÉMIE ROYALE DE BELGIQUE

BULLETIN

DE LA

CLASSE DES SCIENCES

1904. — N° 1.

CLASSE DES SCIENCES.

Séance du 9 janvier 1904.

M. P. Mansion, directeur de la Classe et président de l'Académie pour 1903, occupe le fauteuil.

M. le chevalier Edmond Marchal, secrétaire perpétuel.

Sont présents : MM. Léon Fredericq, *directeur* pour 1904; G. Dewalque, Édouard Van Beneden, C. Malaise, F. Folie, Jos. De Tilly, Ch. Van Bambeke, Alfr. Gilkinet, G. Van der Mensbrugghe, W. Spring, M. Mourlon, P. De Heen, C. Le Paige, Ch. Lagrange, J. Deruyts, J. Neuberg, A. Lancaster, L. Errera, Julien Fraipont, Polyd. Francotte, Paul Pelseneer, *membres;* MM. Maurice Delacre et Aug. Lameere, *correspondants.*

En ouvrant la séance, M. le directeur Mansion souhaite la bienvenue aux membres titulaires nouvellement élus : MM. Jorissen, Francotte et Pelseneer, et ajoute que la Classe compte sur leur concours pour remplir la mission qui lui est dévolue comme premier corps savant du pays.

CORRESPONDANCE.

M. le Ministre de l'Intérieur envoie :

1° Une expédition de l'arrêté royal, en date du 10 décembre, qui nomme président de l'Académie, pour 1904, M. le chevalier Descamps, directeur de la Classe des lettres et des sciences morales et politiques pendant la dite année;

2° Une expédition de l'arrêté royal du 28 décembre qui approuve l'élection de MM. Jorissen, Francotte et Pelseneer en qualité de membres de la Classe;

3° La copie d'un rapport de M. le Ministre de Belgique à Stockholm concernant la distribution solennelle des prix Nobel, qui a eu lieu le 10 décembre.

— MM. Jorissen, Francotte et Pelseneer, élus membres titulaires; et MM. Segre, Roux et Michel Lévy, élus associés, adressent des lettres de remerciements.

— L'Académie impériale et royale des sciences de Vienne fait savoir qu'elle a saisi le Comité de l'Association internationale des Académies à Londres de la réponse affirmative de l'Académie royale de Belgique au

sujet de la composition du Bureau des assemblées générales et exprime, à ce sujet, ses remerciements.

— Le Comité directeur de la VIe session du Congrès international de zoologie annonce qu'il tiendra ses séances à Berne, du 11 au 19 août prochain. — Membres délégués : MM. Van Bambeke, Pelseneer et Lameere.

— La Classe accorde son *Bulletin*, avec effet rétroactif d'échange, à la revue internationale : *L'Enseignement mathématique*, publiée à Genève.

— La Société impériale des Naturalistes de Saint-Pétersbourg, conformément à l'initiative prise par le XIe Congrès des naturalistes et médecins, fait appel à la Classe pour la création d'un fonds destiné à une entreprise scientifique qui portera le nom du professeur A.-O. Kowalewsky.

— La Classe décide le dépôt aux archives d'un billet cacheté de M. Ch. Lagrange, revêtu du timbre de la poste d'Ixelles du 4 janvier courant. Il porte en suscription : sixième billet cacheté (suite du billet du 2 octobre 1905, sur le mouvement perpétuel par la seule pesanteur).

— M. le Ministre de l'Industrie et du Travail envoie, pour la bibliothèque de l'Académie, un exemplaire de la *Bibliographia geologica*, par Michel Mourlon et G. Simoens, série A, tome VII ; série B, tome VI. — Remerciements.

— Hommages d'ouvrages :

1° *Histoire de la langue universelle;* par L. Couturat et L. Leau (présenté par M. De Tilly) ;

2° *Résultat du referendum bibliographique;* par Michel Mourlon;

3° *Discours à la séance publique de l'Académie des sciences de Paris*, le 21 décembre 1903; par Albert Gaudry;

4° *L'Électricité agricole;* par E. Guarini;

5° *Beiträge zur Meeresfauna von Helgoland : Ueber* Phoronis *und* Actinotrocha, *bei Helgoland;* par Marc de Selys Longchamps;

6° *De la création d'une station botanique belge aux îles Canaries;* par Henri Micheels;

7° *Recherches anthropologiques et paléontologiques diverses*; 36 brochures par Émile Rivière, sous-directeur du Laboratoire d'histoire naturelle, à Paris. — Remerciements.

— Travaux manuscrits renvoyés à l'examen :

1° *Sur les modifications des solutions de soude injectées dans le torrent circulatoire et la cause de l'apnée;* par le Dr Ant. Hougardy, assistant à l'Université de Liége (49 pages et 7 figures). — Commissaires : MM. Masius et Fredericq;

2° *Deuxième note au sujet de la respiration périodique et des courbes vaso-motrices chez le chien propeptoné;* par le Dr P. Nolf. — Mêmes commissaires.

PROGRAMME DU CONCOURS ANNUEL POUR 1905.

La Classe s'occupe de la formation de son programme de concours pour l'année 1905.

Ce programme sera arrêté dans la prochaine séance.

PRIX ÉDOUARD MAILLY

(pour favoriser les progrès de l'astronomie en Belgique).

D'après le règlement, un prix de 1,000 francs sera décerné tous les quatre ans à l'auteur du meilleur ouvrage, imprimé ou manuscrit, répondant aux vues du fondateur.

La Classe prend notification de la réception, pour prendre part à la troisième période de ce concours, 1900-1903, des travaux suivants :

Boutquin, A. *Entretiens sur le monde physique. Aperçu, à la portée de tous, d'après les théories modernes, de la constitution de l'Univers.*

Stroobant, Paul. *La prochaine opposition de la petite planète Éros (433);*

— *Sur la détermination des positions absolues en astronomie;*

— *Explication des termes astronomiques usités dans l'Annuaire de l'Observatoire d'Uccle;*

— *La mesure de l'ascension droite des astres et l'usage des mires méridiennes;*

— *La date où vivait l'astrologue Julien de Laodicée;*

— *Précis d'astronomie pratique.*

Le jury se composera de MM. Folie, Lagrange et Le Paige.

ÉLECTIONS.

La Classe procède à l'élection de son directeur pour 1905. M. De Heen est élu par 21 voix contre 1 billet blanc.

M. Mansion, directeur sortant, installe M. Fredericq

au fauteuil présidentiel. Il remercie ses confrères de leur concours si sympathique, dit-il, qui lui a permis de remplir sa mission pendant l'année écoulée et ajoute qu'il en conservera le meilleur souvenir.

M. Fredericq propose de voter des remerciements à M. Mansion pour la façon distinguée et pleine de tact avec laquelle il a rempli ses fonctions. (*Applaudissements.*)

M. Fredericq, en prenant la direction des travaux, remercie de nouveau ses confrères de leurs suffrages; il fera de son mieux pour mériter cet honneur, et, dans ce but, il fait appel à l'indulgence de tous ses confrères.

M. Fredericq invite M. De Heen à venir prendre place au bureau. L'honorable confrère remercie et ajoute qu'il tâchera de s'inspirer de ses prédécesseurs lorsque à son tour il sera chargé de diriger les travaux de la Classe.

— Il est procédé ensuite à la formation de la liste de dix noms parmi lesquels M. le Ministre de l'Intérieur et de l'Instruction publique choisira les cinq membres du jury qui jugera la première période du concours décennal des mathématiques pures.

RAPPORTS.

Il est donné lecture des rapports suivants :

1° De MM. Van Beneden, Van Bambeke et Plateau sur une demande par laquelle M. le professeur Ch. Julin, de l'Université de Liége, sollicite de pouvoir occuper de nouveau la table belge de la Station zoologique à Naples.

— Renvoi à M. le Ministre de l'Intérieur et de l'Instruction publique;

2° De M. De Heen, sur une note de M. le Dr Monier, à Liége : *Sur la dissociation de la matière.* — Dépôt aux archives;

Une lettre de M. D. Burton sur la *Trisection des angles* sera également déposée aux archives, conformément à l'accord entre des corps savants au sujet des communications de ce genre.

COMMUNICATIONS ET LECTURES.

Réponse à une objection d'un de mes confrères concernant l'infiniment petit absolu (*); par Ch. Lagrange, membre de l'Académie.

1. A la suite d'une lecture sur la question de la tangente, faite dans notre séance du 5 décembre, et où je proposais aux défenseurs de la limite des problèmes

(*) Bibliographie :

1. *Étude du système des forces* (Appendice). (Mém. de l'Acad. roy. de Belgique, 1892, t. XLVIII.)

2. *Étude du principe de la limite.* (Bull. de l'Acad. roy. de Belgique (Classe des sciences), nos 9-10, 1901.)

3. *Sur l'infiniment petit absolu*, dans la revue « L'Enseignement mathématique », mai 1902.

4. (*Réclamation de priorité...*). *Note sur l'infiniment petit absolu.* (Bull. de l'Acad. roy. de Belgique (Classe des sciences), 1903, n° 3.)

5. *Newton et le principe de la limite.* (Bull. de l'Acad. roy. de Belgique (Classe des sciences), 1903, n° 7.)

6. *La question de la tangente.* (Bull. de l'Acad. roy. de Belgique (Classe des sciences), 1903, n° 12.)

classiques de cinématique, de mécanique, de probabilité, en montrant que les géomètres partisans de la limite par le zéro en seraient réduits, pour sauver leur principe, à « refuser d'y répondre », un de nos honorables confrères a cru devoir demander la parole pour déclarer, en effet, qu' « il refusait de répondre à ces questions ». Bien loin de la critiquer, je ne trouve, au contraire, pas un mot à reprendre à cette argumentation de mon honorable confrère et à sa force démonstrative; et d'ailleurs, c'est beaucoup moins de lui que de moi-même et de ma justification qu'il est question dans ce qui suit. Il s'est, en effet, en partie ravisé (il a bien fait) et m'a adressé une objection à laquelle je tiens à répondre. On me fera, je pense, la justice de reconnaître que j'ai toujours tenu à honneur de ne pas éluder la discussion et de répondre de mon mieux aux critiques qu'on a bien voulu me faire. Du moins m'a-t-il toujours paru que l'examen, et même l'examen public, est un devoir pour les membres de l'Académie, puisqu'il est leur unique raison d'être.

2. Voici donc l'objection dont il s'agit. « Vous prétendez que la tangente à une courbe, soit le cercle, a une multitude de points communs avec le cercle. Or cela est évidemment faux, puisqu'une droite et le cercle, ainsi que le prouvent leurs équations en géométrie analytique, ne peuvent avoir que deux points communs, donnés par les deux racines d'une équation; le cas des racines égales, c'est-à-dire du point unique, est celui de la tangente. » Il est aisé de répondre.

L'objection consiste à prétendre prouvé par l'analyse que le système d'une équation du premier et d'une équation du second degré à deux variables xy, par exemple

l'équation du premier degré de la droite et l'équation du second degré du cercle, n'a jamais que deux racines (xy). Or c'est là une erreur analytique; et je n'ai eu qu'à renvoyer mon honorable contradicteur à la note du paragraphe 6 de *Newton et le principe de la limite*, où j'ai précisément traité cette question, et montré que le cercle

$$x = \sqrt{R^2 - y^2}$$

et la droite $x = R$ ont une « multitude » de points communs, savoir tous les points définis par les coordonnées

$$x = R,\ y = \pm n\varepsilon,$$

où ε est l'infiniment petit absolu et n un nombre entier fini, attendu qu'alors

$$y^2 = n\varepsilon \times \frac{n\varepsilon}{1} = \varepsilon \times \frac{n^2\varepsilon}{1} < \varepsilon$$

n'existe pas, puisque ε est indivisible (*). La proposition qu'il m'oppose est donc erronée.

(*) Ceci répond en même temps à une autre objection que m'a faite un de nos honorables confrères, à savoir que la tangente ne peut avoir plusieurs points communs avec le cercle, puisque des obliques sont plus grandes que la perpendiculaire, égale au rayon. Cette objection repose sur la confusion, irrationnelle parce qu'elle est contradictoire, qu'on retrouve dans presque toutes les objections contre l'infiniment petit, confusion qui provient de la tendance irrationnelle à la *figuration*, et qui consiste à attribuer les propriétés des grandeurs finies à ce qui, par définition, ne l'est pas. Il faut au contraire, pour s'éclairer, recourir à la *théorie* de l'espace, c'est-à-dire chercher ce que deviennent, dans l'ordre infiniment petit absolu, les relations mathématiques établies pour les grandeurs finies. Or,

3. Mais, dira-t-il, vous vous appuyez, pour conclure cela, sur l'infiniment petit absolu, et c'est justement cette notion que je n'admets pas. Je répondrai alors que l'*objection* n'en est pas une, mais tout simplement une *pétition de principe*, principe qu'il reste à justifier. C'est absolument, en effet, comme s'il me disait : « Vous démontrez, en vous fondant sur la condition A, que B = C; or, moi, en ne tenant pas compte de A, je démontre que B > C; donc vous avez tort. » Mais alors, pour avoir raison, mon contradicteur devrait commencer par démontrer son droit à éliminer la condition A. Cela signifie encore que mon confrère, au lieu de dire : « Vous vous appuyez, pour conclure, sur l'infiniment petit absolu, et c'est justement cette notion *que je n'admets pas* », devrait, pour parler exactement, dire : « Vous vous appuyez, pour conclure, sur l'infiniment petit absolu, et c'est justement cette notion *qui est en question*. » Mais si elle est en question, il faut donc l'examiner. En m'objectant sa proposition du cercle et de la droite, il n'a donc rien moins fait, après son refus d'examen, que se mettre lui-même dans la nécessité ou de désavouer maintenant son objection, qu'il jugeait cependant déci-

---

ici, on a pour la distance r du centre du cercle à un point de la tangente (distance mesurée donc sur l'*oblique*)

$$r = \sqrt{R^2 + y^2}.$$

Pour

$$y = \pm n\varepsilon,$$

y^2 *n'existe pas*. On a donc alors

$$r = R;$$

c'est-à-dire que tous les points $x = R$, $y = \pm n\varepsilon$ de la tangente sont à la distance R du centre du cercle et appartiennent bien à celui-ci.

sive, ou d'examiner et de discuter directement la notion d'infiniment petit absolu qu'il croyait pouvoir ignorer. C'est à cette épreuve que j'attends mon honorable contradicteur. Jusque-là l'objection qu'il m'a faite ne serait en réalité, il le reconnaîtra, qu'une faute contre le raisonnement.

4. Il faut d'ailleurs savoir gré à notre confrère d'avoir soulevé cette objection, car elle met en évidence un point d'une grande importance tant au point de vue des principes eux-mêmes que de l'exposé didactique de l'algèbre. Il s'agit du nombre des racines d'un système d'équations. Or, je vais prouver, dans ce point de vue et par un cas beaucoup plus simple encore que celui que proposait notre collègue, d'abord le caractère mal fondé de sa proposition, et ensuite, sans plus même parler de l'infiniment petit absolu, et par un exemple accessible à tout le monde, le bien fondé et le caractère normal de l'idée que la tangente a une multitude de points en commun avec la courbe.

Un système d'équations, une du premier, une du second degré, n'a, disait-on, jamais que deux racines. Quand les racines sont égales, les points qu'elles représentent se confondent; on a la tangente à la courbe du second degré.

Eh bien! prenons l'exemple beaucoup plus simple encore d'un système formé de deux équations du premier degré, soient

$$\begin{cases} ax + by = c \\ a'x + b'y = c' \end{cases} \quad \text{ou} \quad \begin{matrix} Ax + y = B \\ A'x + y = B'. \end{matrix}$$

On dira avec évidence, semble-t-il, que « ce système de

deux équations du premier degré n'a qu'une racine xy » ; et cependant cette proposition est erronée. Il faut dire qu'un système de deux équations du premier degré (en éliminant le cas où il n'a aucune racine) « a une racine (xy) ou une infinité de racines (xy) ». Dans le cas, en effet, où $A' = A$, $B' = B$, il y a *une infinité de racines* (xy) qui satisfont au système des deux équations.

Cette remarque n'est pas sans importance au point de vue de l'enseignement de l'algèbre élémentaire. On sait, en effet, que dans des traités classiques, la valeur de x, tirée préalablement de la résolution des équations, se présente, dans le cas précédent, sous la forme $\frac{0}{0}$, et qu'on la donne comme *indéterminée*. Or non seulement l'idée juste du *nombre infini* des racines est ainsi masquée, mais le mot *indétermination* enseigne ici une autre idée, qui est fausse. Il implique, en effet, qu'*il y a une racine unique* et que le choix de cette racine est indéterminé; alors que les équations enseignent, au contraire, ce qui est radicalement opposé, qu'il y a un nombre infini de racines, toutes déterminées, et qu'ainsi le symbole $\frac{0}{0}$, qu'on emploie pour désigner l'*indétermination*, devrait éveiller bien plutôt ici une idée d'infinité.

L'idée fausse d'*indétermination* vient donc, dans ce cas classique, uniquement de ce que, gratuitement et à tort, on est sous l'influence non consciente de la proposition inexacte : « deux équations du premier degré n'ont qu'une racine (xy) ». Cette proposition, je le répète, est inexacte, puisque les équations enseignent le contraire (*).

(*) Il y aurait *indétermination* si l'on cherchait une valeur (xy) satisfaisant aux équations. Mais ce n'est pas la position de la question : quand on cherche les racines, on cherche les valeurs (xy) qui

On trouvera peut-être ceci trop absolu; on dira que dans nombre de traités on mentionne en même temps l'idée de l'infinité des racines; je le sais; mais il n'en est pas moins vrai, comme le prouve assez le symbole $\frac{0}{0}$ de l'indétermination, que c'est cette dernière idée qui subsiste et s'impose, et dès lors il y a certainement là une notion fausse à rayer de l'enseignement classique. Or, si deux équations du premier degré peuvent ainsi avoir une infinité de racines (et ce qui fait, dans l'espèce du débat, la force de l'argument, c'est qu'il n'est nul besoin pour cette constatation de recourir à l'infiniment petit absolu), il n'y a nul lieu de s'étonner que le système d'une équation du premier et d'une équation du second degré puisse présenter, au lieu de deux, une multitude de racines; si donc, comme nous l'avons fait, on arrive à démontrer ce dernier point, bien loin de s'en offusquer, on devra, au contraire, le trouver dans l'ordre de la vraisemblance analytique.

5. La représentation géométrique des équations, en nous ramenant à la question de la tangente, vient ensuite donner un caractère très impressif et d'une portée plus grande encore à ces conséquences analytiques.

La ligne droite, en effet, a pour tangente en un point cette ligne elle-même [ce qui se montre tant par la simple considération géométrique que par l'équation

---

satisfont aux équations. Or, dans notre cas, il y en a une *infinité* et elles sont toutes *déterminées*. Cas analogue : quand on donne l'équation $y = ax + b$ d'une droite, il ne vient à l'esprit de personne de dire qu'il y a indétermination.

analytique de la tangente (*)]. On est donc en présence d'un fait significatif pour la question actuelle, et que son évidence même pourrait seule laisser passer inaperçu, celui d'une ligne qui a avec sa tangente en un point une infinité de points communs. Or il suffit d'un seul exemple de ce genre, bien établi, pour qu'en passant de cette ligne du premier degré à une ligne du second degré, par exemple le cercle, au lieu d'estimer absurde, sans autre examen et uniquement sous l'empire des idées courantes, l'idée d'un contact multiple de la tangente, il y ait au contraire tout lieu de réserver son jugement et d'examiner avec prudence; et si, comme nous l'avons fait au moyen d'une notion nouvelle, entièrement définie et jusqu'ici inaperçue, on démontre qu'en effet la tangente au cercle a une multitude de points en commun avec lui, nous répétons que ce résultat, loin d'étonner, doit, si l'on se donne la peine d'y réfléchir, paraître, au contraire, entièrement dans l'ordre de la vraisemblance.

6. J'espère avoir démontré à mon honorable opposant qu'au lieu de refuser d'examiner cette question capitale,

---

(*) La règle de dérivation pour trouver l'équation de la tangente s'applique, en effet, rigoureusement à l'équation de la ligne droite, et donne pour la tangente cette ligne elle-même. On remarquera que la méthode de la limite, et sa définition de la tangente comme limite d'une sécante, portent ici à faux, tandis que notre définition de la tangente donnée par la *première* demi-droite qui, tournant autour d'un point de la ligne, a plus d'un point commun avec elle (voir *La question de la tangente*), s'applique, et est d'accord avec l'expression analytique. Cela explique aussi et justifie la notion de sens commun qu'on a de la tangente quand on dit que la demi-droite, en tournant, vient *reposer sur* la courbe.

il y a, à tous les points de vue, c'est-à-dire tant pour la science que pour l'enseignement, et sans compter la responsabilité de l'Académie dont c'est en propre la mission, tout lieu de l'examiner et même de la discuter publiquement.

Il me reste à faire deux remarques concernant l'ordre et la marche des idées suivis jusqu'ici dans ce débat.

La première, qui doit m'être permise comme de bonne guerre, et qui apporte un témoignage d'une singulière force pratique à mes arguments, c'est que notre honorable confrère, après avoir déclaré en séance qu'il refusait de me répondre, m'a cependant fait une objection (celle que je viens de réfuter), dès qu'il a cru en trouver une décisive. Or il est impossible de ne pas conclure de là que son refus d'examen venait simplement du sentiment qu'il n'avait encore rien de clair à m'opposer. Mon honorable confrère m'a proposé cette objection par un sentiment qui l'honore, dicté par l'esprit même de notre institution. Mais peut-être cela prouverait-il aussi que, si le silence est un procédé de discussion, il ne réussit qu'à la condition de s'y bien tenir.

Ma seconde remarque, qui se rattache à ce que je viens de dire, et que j'avais d'ailleurs soulignée dès le début de cette note, est que cette objection qu'on a bien voulu me faire n'est cependant qu'une objection *à côté*, et qu'elle évite de toucher au fond de la question. Ce n'est point là la bonne voie pour aboutir dans une discussion. La marche rationnelle consiste à suivre son interlocuteur dans la voie d'exposition qu'il a choisie, et, là retraçant pas à pas, à mettre, si elle existe, le doigt sur la fêlure des déductions. Or, voici la marche que j'ai adoptée pour étudier l'infiniment petit mathématique, marche qui

est propre à toutes les sciences dont s'occupent indistinctement nos deux sections dans la recherche et l'étude d'un objet; savoir : 1° établir par des faits l'existence et la nécessité de prise en considération de cet objet; 2° cela fait, et certain qu'on ne poursuit pas une chimère, étudier l'objet pris en lui-même, approfondir ses propriétés, en tirer une définition, enfin en déduire les conséquences pour établir une théorie. La première partie est, en fait, *expérimentale*, aussi bien pour le mathématicien que pour le physicien, le chimiste ou le naturaliste; il y a, en effet, des expériences intellectuelles comme il y a des expériences physiques; les esprits sont un laboratoire où, pour découvrir l'existence et la nature d'un principe, on le soumet à des réactions.

Ici l'objet était la notion de l'infiniment petit fixe. L'*expérience*, pour prouver sa nécessité intellectuelle, a consisté à proposer la solution de problèmes, problèmes d'ailleurs non récusables, car ils appartiennent à l'enseignement classique. Il ne s'agit donc pas jusque-là d'*admettre* ou de *ne pas admettre*, de sentiment, telle ou telle idée, mais simplement de *constater* d'abord le résultat d'une épreuve; et il en résulte que, quoique le sujet soit mathématique, la question est de la compétence de tous les hommes habitués à l'ordre scientifique. Si une théorie est hors d'état de résoudre un des problèmes proposés (ce que l'on pourra reconnaître rien qu'à l'attitude de ses défenseurs, et notamment à leurs échappatoires ou à leur refus d'en donner publiquement la solution), il est évident que cette théorie est soit insuffisante, soit dans l'erreur, et qu'elle ne saurait donc prétendre au droit de régenter la science. C'est cette épreuve expérimentale, première phase de la discussion, et fait externe,

je le répète, de la compétence de tout esprit éclairé et impartial, que je propose depuis longtemps à la *théorie de la limite par le zéro;* or, je suis bien contraint de le constater, le résultat n'a fait que me convaincre, et avec moi plusieurs autres, que les fins de non recevoir, les refus d'examen et les échappatoires opposés par cette théorie pour éviter la discussion publique, ne viennent, en réalité, que de ce qu'elle est hors d'état de la supporter. Quand on refuse de répondre à des questions aussi claires, alors qu'on y aurait intérêt, que conclure sinon qu'on est dans l'incapacité de le faire? C'est là une preuve de fait qui est plus forte que tout. Les problèmes classiques que j'ai ainsi proposés sont déjà nombreux et se rapportent à la cinématique, à la mécanique, à l'analyse pure. S'il fallait encore proposer l'épreuve, je pourrais rappeler seulement le plus simple d'entre eux, parce que tout le monde le comprend d'emblée, celui de ce cas classique de l'aiguille de Buffon, où l'on demande la probabilité ou chance qu'en jetant une aiguille au hasard sur un plancher, elle tombe parallèlement aux planches.

La *limite*, appliquée aux probabilités, oblige à dire que la probabilité est nulle, que l'événement est donc impossible, que l'aiguille ne tombera jamais parallèlement aux planches; résultat évidemment faux et condamné par le sens commun.

Mais voici un autre et nouvel exemple dont la conséquence absurde, à raison du caractère pratique et utile du sujet, est mieux faite encore pour dépister les échappatoires, attirer l'universelle attention et montrer à quel degré d'énormités condamnées par le sens commun en arrive la théorie de la limite. Il s'agit de la question du tir. La théorie de la limite enseigne qu'il y a la même

chance d'atteindre le centre de la cible en chargeant le fusil ou en ne le chargeant pas, ou encore en visant du côté de la cible ou en lui tournant le dos. Elle établit, en effet, que dans ces deux cas, on a $P = 0$, $P' = 0$; d'où $P = P'$; propriété remarquable qui, étant d'ailleurs vraie pour un point quelconque, s'étend à la cible tout entière (car *toucher la cible* = *atteindre un point de la cible*).

Eh bien dans ces cas, demanderons-nous aux défenseurs quand même de la limite, — en se supposant, pour fixer des conditions où on serait bien obligé de se décider et de choisir, au tableau noir et à la craie, devant un auditoire, — faut-il, demanderons-nous, dire avec la limite, au prix des absurdités énormes signalées, que la probabilité considérée (celle de la position désignée de l'aiguille, celle d'atteindre un point de la cible) est *nulle*, ou convenir qu'elle est un *infiniment petit?* C'est clair, court, et — devant l'Académie, juge compétent — démonstratif.

Faut-il écrire

$$P = 0, \text{ ou } P = \varepsilon?$$

Il ne faut pas trois secondes pour répondre (*).

(*) La solution de ce petit problème résoudrait déjà la question de la *nécessité* de l'*infiniment petit* en analyse. La théorie de l'infiniment petit et ses difficultés viennent ensuite, dans l'ordre de la méthode.

Il y a d'autant plus d'intérêt pour les défenseurs de la limite à s'expliquer, que l'idée fait du progrès; témoin l'exemple caractéristique que me signale à son appui le distingué professeur de physique de l'un de nos premiers établissements scientifiques, après s'être donné la peine d'examiner le débat. Il s'agit de la question classique du pendule.

D'après la théorie de la limite, *un pendule vertical et immobile possède un mouvement d'oscillation,* de durée

$$T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

finie et déterminée. J'avais déjà cité des cas de mouvements impossibles enseignés comme effectifs par la limite; voici maintenant le cas, non moins absurde mais encore mieux trouvé, d'*un* MOUVEMENT *identique à un* REPOS *absolu.* Je reviendrai sur cette question; je dirai seulement pour le moment que la plus petite déviation α à laquelle s'applique rigoureusement, au lieu du zéro, la formule

$$T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

est $\alpha = \sqrt{\varepsilon}$, ε étant l'infiniment petit absolu d'angle.

L'idée d'une oscillation pour $\alpha = 0$, enseignée par la limite, est évidemment absurde; et la raison mathématique en est celle-ci : c'est que *la limite*

$$T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

elle-même est un terme qui *n'existe pas*, dans la formule du pendule, *pour* $\alpha = 0$; ou, en d'autres termes, qu'il n'est pas vrai, comme on le croit, qu'on obtient la limite

$$T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

en faisant $\alpha = 0$. La valeur minimum de α pour laquelle ce terme existe est de l'ordre

$$\alpha = n\sqrt{\varepsilon}$$

où n est un entier fini. Il existe des oscillations encore plus petites, de l'ordre $n\varepsilon$; mais elles n'appartiennent pas à la formule, c'est-à-dire à l'action de la pesanteur.

Les $\alpha = n\varepsilon$ s'effectuent sur la seule tangente, et les

$$\alpha = n\sqrt{\varepsilon}$$

sur le cercle de courbure.

—

SUR UNE DÉMONSTRATION DU POSTULATUM D'EUCLIDE (*la Métagéométrie et l'Infiniment petit absolu*) (*); par Charles Lagrange, membre de l'Académie.

1. Par un point P d'un plan, on peut (fig. 1) mener une parallèle PA à une droite DD′ de ce plan.

Il s'agit de démontrer qu'on n'en peut mener qu'une

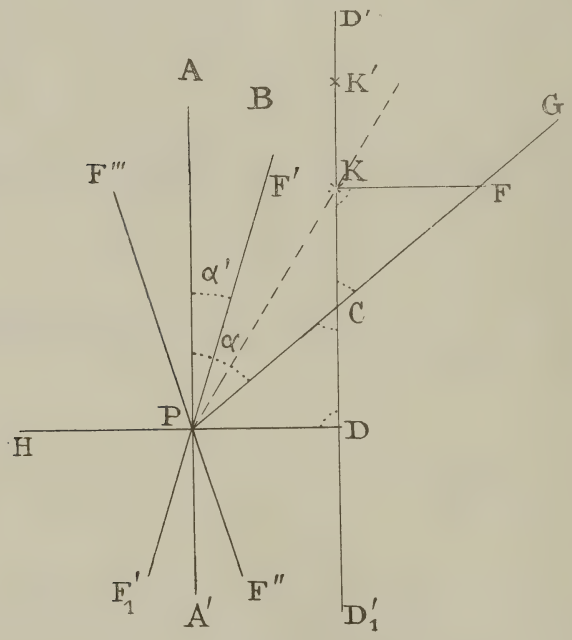


FIG. 1.

(*) Bibliographie :

1. *Étude du système des forces* (Appendice). (MÉM. DE L'ACAD. ROY. DE BELGIQUE, 1892, t. XLVIII.)

(en admettant jusque-là l'exposition adoptée, d'après Euclide, par tous nos traités de géométrie élémentaire).

Nous allons présenter d'abord notre démonstration, sauf à analyser ensuite, en y répondant, les critiques qu'on y pourrait faire.

Soit PD la perpendiculaire abaissée de P sur DD′; PA perpendiculaire à PD est parallèle à DD′; nous désignerons par B la surface ou partie du plan comprise dans la bande APDD′.

De deux choses l'une : une demi-droite telle que PF (ou PF′) menée par P et définie par l'angle α (ou α'), compris dans l'angle droit APD, 1° rencontre ou 2° ne rencontre pas DD′.

1° Soit PF rencontrant DD′ en C; en prenant CK = CD et menant la perpendiculaire KF, les deux triangles CKF, CDP sont égaux. En désignant par α la surface comprise dans l'angle α, on a donc alors

$$\begin{aligned}\alpha &= APCD' + KCF + D'KFG \\ &= APCD' + PCD + D'KFG \\ &= B + D'KFG,\end{aligned}$$

donc $\alpha > B$.

---

2. *Étude du principe de la limite.* (Bull. de l'Acad. roy. de Belgique (Classe des sciences), nos 9-10, 1901.)

3. *Sur l'infiniment petit absolu,* dans la revue « L'Enseignement mathématique », mai 1902.

4. (*Réclamation de priorité...*). *Note sur l'infiniment petit absolu.* (Bull. de l'Acad. roy. de Belgique (Classe des sciences), 1903, n° 3.)

5. *Newton et le principe de la limite.* (Bull. de l'Acad. roy. de Belgique (Classe des sciences), 1903, n° 7.)

6. *La question de la tangente.* (Bull. de l'Acad. roy. de Belgique (Classe des sciences), 1903, n° 12.)

7. *Réponse à une objection d'un de mes confrères concernant l'infiniment petit absolu.* (Bull. de l'Acad. roy. de Belgique (Classe des sciences), 1904, n° 1.)

2° Soit PF′ ne rencontrant pas DD′, c'est-à-dire parallèle à DD′. Alors on a

$$\alpha' < B.$$

Réciproquement, si $\alpha > B$, PF rencontre DD′; si $\alpha' < B$, PF′ ne rencontre pas DD′, c'est-à-dire est parallèle à DD′.

La condition nécessaire et suffisante pour que PF′ ne rencontre pas DD′ est donc $\alpha' < B$.

En résumé, on a donc, en désignant généralement par α la surface de l'angle,

$$\alpha > B \text{ ou } \alpha < B$$

et jamais $\alpha = B$.

Or je dis qu'on n'a jamais $\alpha < B$.

En effet, il existe des droites PF qui rencontrent DD′ (on les obtient en joignant à P un point donné C de DD′), c'est-à-dire des $\alpha > B$.

Or s'il existait un $\alpha' < B$, comme α' est une des valeurs de α dans la variation continue de cette grandeur (notion d'usage effectif antérieurement au postulatum), en passant de α à α' on passerait par un α pour lequel on aurait

$$\alpha = B,$$

ce qu'on vient de démontrer impossible.

Il s'ensuit que toutes les droites $F_1'PF'$ rencontrent $D_1'D'$.

D'ailleurs (*), toutes les droites F‴PF″, appartenant à

(*) C'est M. le lieutenant du génie Hamelryck qui m'a fait observer qu'il convient, en rigueur, de considérer au seul égard de la demi-droite DD′, les demi-droites PF‴ aussi bien que les PF.

APH, rencontrent $D'DD'_1$, puisqu'on démontrerait semblablement, en considérant la bande $A'PDD'_1$, que PF'' rencontre DD'_1.

Donc il n'existe pas d'autre parallèle que PA, C. Q. F. D.

2. Il faut d'abord écarter une objection qu'on pourrait être tenté de tirer de la Métagéométrie. On sait que cette généralisation de la Géométrie prétend établir l'impossibilité de démontrer le postulatum, en démontrant la possibilité de plusieurs espaces différents, dont l'un est réalisé par l'espace physique, mais entre lesquels il est impossible de choisir avec certitude. De ces espaces, un seul serait euclidien, c'est-à-dire posséderait la propriété du postulatum. Mais comme je l'ai démontré dans mon travail *Pour la Géométrie euclidienne* (*), toute cette Métagéométrie repose sur une confusion d'idées qui en ruine radicalement les conclusions : la Métagéométrie a confondu la *science de l'espace* avec la *science de la ligne droite*. Bien loin de donner plusieurs définitions de l'espace, cet objet de la Géométrie, et de démontrer ainsi l'existence possible de plusieurs géométries, elle n'a pu que rééditer la définition unique, « collection d'éléments (points) à trois indices (nombres) », qui est celle de la Géométrie analytique de Descartes et dans laquelle l'espace est euclidien ; et tout ce qu'elle a fait de nouveau a été de classer la ligne droite euclidienne dans une famille de lignes, à la manière dont, dans la théorie des

---

(*) *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique* (Classe des sciences), 1899, n° 7.

coniques, on montre que la parabole est un cas particulier placé entre l'ellipse et l'hyperbole. Cette dernière analogie, en ramenant à la considération d'une famille de lignes mieux connues que la nouvelle famille de « lignes droites », fixera de la manière la plus simple les idées sur les procédés de déduction de la Métagéométrie. Supposons qu'au lieu de la ligne droite d'Euclide, il soit question de la parabole. Le métagéomètre observera qu'en traçant une parabole, on trace peut-être une hyperbole ou une ellipse tellement rapprochées de la vraie parabole qu'il est impossible de décider de laquelle entre ces trois espèces de lignes est effectivement la ligne tracée ; il en conclut alors qu'on ne sait donc pas si les paraboles ne seraient pas soit des hyperboles, soit des ellipses, auxquels cas l'espace, au lieu d'être parabolique, serait hyperbolique ou elliptique. Il est ainsi conduit à l'existence possible de trois espaces et, par conséquent, de trois géométries, savoir 1° l'espace et la géométrie hyperbolique, dans lesquels ce qu'on appelle parabole est en réalité une hyperbole ; 2° l'espace et la géométrie parabolique, où ce qu'on appelle parabole est réellement une parabole ; 3° l'espace et la géométrie elliptique, où ce qu'on appelle parabole est en réalité une ellipse.

Le métagéomètre va se récrier ; il dira avec raison qu'il est absolument faux de confondre ainsi la théorie des coniques avec la théorie de l'espace ou la géométrie, et de conclure de trois espèces de coniques à trois espaces différents ; et qu'il sait très bien (en dehors même de l'expérience) que les trois espèces existent à la fois dans un seul espace, ainsi que le prouve l'unique définition qu'on soit parvenue jusqu'ici à donner de l'espace. Nous disons qu'il se récriera ; et cependant ce qu'il condamnera

ainsi est exactement ce qu'il fait quand, de la famille des coniques, on passe à la famille des lignes droites, dont fait partie la droite euclidienne. On n'a qu'à redire pour celle-ci ce qu'on vient de dire pour la parabole. En traçant cette droite, on ne sait pas si elle ne serait pas une droite riemannienne ou lobatchefskienne trop rapprochée pour faire la distinction, et l'on conclut à trois espaces et à trois géométries, lobatchefskien, euclidien, riemannien, alors qu'il faudrait simplement constater, comme pour les coniques, que toutes ces droites existent simultanément dans un même espace (*), lequel possède donc la droite euclidienne et est donc l'espace vulgaire euclidien. L'erreur est due ici à l'influence d'un *mot*, celui de *ligne droite*, et à l'idée vulgaire, mais ici contraire aux prémisses et à la définition de l'espace, qu'il n'existe qu'une *ligne droite* dans l'espace. Quand il s'agit des coniques, on ne fait pas cette confusion, à raison de l'habitude qu'on a du vrai sens de leur dénomination.

Il est extraordinaire que des géomètres, dont les travaux sont la gloire de leur époque, aient pu faire une semblable confusion, qui ruine tout l'édifice de la Métagéométrie et n'aboutit qu'à établir plus solidement la géométrie séculaire d'Euclide. Mais on était bien contraint de la signaler, à raison justement de l'argument décisif, et qui semblait dispenser du reste, que constituait une semblable autorité contre la prétention de démontrer, malgré cela, le postulatum.

(*) Il en est de même quand on définit la géométrie : la science de l'*intervalle*, c'est-à-dire d'une fonction des six indices (coordonnées) de deux points. Tous les intervalles existent simultanément dans un unique espace, lequel est euclidien, puisqu'il possède l'*intervalle* euclidien, ou distance euclidienne de deux points.

3. L'obstacle, d'ailleurs illusoire, de la Métagéométrie étant écarté, on peut envisager les objections que provoquerait cette démonstration du postulatum prise en elle-même.

En ce qui concerne d'abord le caractère d'infinité (ou, si l'on préfère, d'indéfini) de données telles que la surface de la bande comprise entre les deux parallèles ou dans un angle, on remarquera qu'il n'est fait nul usage de ce caractère dans les relations mathématiques constatées entre elles, et qui consistent simplement dans des inégalités reposant sur l'identité que *la partie est moindre que le tout*. Quelle que soit une figure, dès que sa surface fait partie de la surface d'une autre, la première est moindre que la seconde.

En tous cas, il ne suffirait pas ici de déclarer qu'on n'admet pas ces prémisses; il faudrait, ce qui est autrement difficile, dire pourquoi, écrire et préciser sa déduction. Je dis que cela est difficile, parce que, en effet, comme il est certain que l'on n'a ni $\alpha < B$, ni $\alpha = B$, il faut bien conclure $\alpha > B$. En dehors de cela, il ne resterait qu'un moyen au négateur : refuser de regarder la figure. Je constate d'ailleurs que jusqu'ici personne, parmi ceux qui ont examiné cette démonstration, n'a pu faire sur ce point de difficulté.

Mais voici une objection plus spécieuse et, comme on va le voir, par la discussion qu'elle amène, d'une grande portée (*).

(*) Cette objection et celle du § 4, qui s'étaient présentées d'abord d'elles-mêmes, m'ont été respectivement faites aussi, d'une manière entièrement indépendante, par MM. Biévez et Moulaert, sous-lieutenants à l'École d'application.

Votre démonstration, pourrait-on me dire, repose sur ce qu'on ne peut avoir $\alpha' < B$, puisqu'on a $\alpha > B$ et qu'ainsi on devrait avoir aussi un $\alpha'' = B$. Mais il existe en fait un $\alpha' < B$, c'est celui qui répond à la parallèle PA pour laquelle $\alpha' = 0 < B$; et puisqu'il existe un $\alpha > B$, et qu'on passe d'une manière continue de α à $\alpha' = 0$, il faut conclure, au contraire, qu'il existe un $\alpha'' = B$, et que, par conséquent, par P on peut mener, en outre de PA, un faisceau de droites parallèles à DD'; ce sont toutes celles que comprend l'angle α'' (ou son double).

Votre démonstration donne donc bien une solution au postulatum, mais c'est en démontrant, non qu'il est vrai, mais qu'il est faux; et vous prouvez Lobatchefsky en détruisant Euclide.

Or, cette objection, par son caractère frappant, a d'autant plus de valeur qu'elle a moins de fondement. Elle ne fait, en effet, que mieux mettre ainsi en évidence une erreur fondamentale qui est aujourd'hui à la base de l'analyse, et que nous avons déjà plusieurs fois signalée avec insistance, savoir : celle qui fait considérer *zéro*, c'est-à-dire le signe qui indique la non-existence d'une grandeur, comme étant un état de cette grandeur. La réponse à l'objection est donc de la dernière simplicité. $\alpha' = 0$ n'est pas un $\alpha' < B$, par la raison que *zéro* n'est pas une des valeurs de α'. Si l'on n'était pas sous l'influence accumulée d'un langage mathématique inexact, cela paraîtrait d'emblée aussi évident qu'en fait cela est vrai.

La moindre valeur que peut atteindre α' est l'infiniment petit absolu d'angle ε (ou la première valeur à partir de zéro); la déduction par laquelle on a démontré plus haut que pour aucune valeur de α' on ne peut avoir $\alpha' < B$, et

que, par conséquent, il n'existe qu'une parallèle, concerne d'ailleurs aussi bien cette valeur ε que toute autre valeur.

4. Ainsi, l'objection que soulevait notre démonstration, et qui prétendait, en suivant la marche même de cette démonstration, démontrer l'opposé du postulatum, met par cela même en évidence une notion par laquelle elle se détruit, celle de l'infiniment petit absolu.

Mais ce n'est pas tout; cette notion de l'infiniment petit absolu, une fois introduite, soulève maintenant contre notre démonstration, elle-même une nouvelle difficulté, qu'il faut résoudre, et qui va nous conduire à lui trouver sa forme définitive.

Si, pourrait-on dire, la *continuité* de α (angle) consiste dans ses variations par infiniment petits absolus ε d'angle (qui sont des indivisibles), il n'est pas démontré que la bande B ne puisse être comprise entre deux valeurs successives de α (surface), puisque les surfaces comprises entre deux demi-droites qui font entre elles l'infiniment petit absolu d'angle, ne sont pas des infiniment petits de surface (c'est-à-dire des indivisibles).

Dès lors, on pourrait passer de $\alpha > B$ à $\alpha < B$ sans avoir nécessairement $\alpha = B$; et tout votre raisonnement tomberait.

L'objection est juste, en ce sens qu'il reste en effet à démontrer que B ne peut être comprise entre deux α successifs. Mais c'est en effet ce qui est impossible, et en voici la démonstration.

La condition nécessaire pour que B puisse être comprise entre deux α successifs, c'est que l'angle F'PF (fig. 1) entre deux droites PF, PF', pour lesquelles on a $\alpha > B$ et $\alpha' < B$, soit l'infiniment petit absolu ε d'angle.

Or cette condition est impossible. Soit, en effet, K′ un point quelconque de DD′ compris dans l'angle APF. Je dis qu'en joignant K′ à P, la droite PK′ sera dans l'angle F′PF; car si elle était dans APF′, on aurait l'angle APK′ $< \alpha'$ et, par conséquent, APK′ $<$ B; donc PK′ ne rencontrerait pas DD′.

Il suit de là qu'en joignant à P le point K (*) de la démonstration (fig. 1), la droite PK divise toujours l'angle F′PF. Donc F′PF n'est pas un indivisible, c'est-à-dire n'est jamais égal à l'infiniment petit absolu ε.

Les angles F′PK, KPF ont pour minimum admissible ε, mais le minimum admissible de F′PF est 2ε (**).

5. Il suit bien de là que B ne pouvant être ni égal à α ni compris entre deux α successifs, on a toujours, c'est-à-dire pour toutes les valeurs de α, y compris son minimum ε, $\alpha >$ B, ce qui démontre le postulatum.

La démonstration (***) de celui-ci se résume donc comme il suit :

I. Prouver, comme plus haut, que l'on a $\alpha >$ B ou $\alpha <$ B, et jamais $\alpha =$ B;

(*) K fait partie intégrante et nécessaire de la démonstration, car il introduit le triangle KCF = PCD et lui appartient. K n'appartient pas à PF′, qui ne rencontre pas DD′; et il n'appartient pas à PF, car, s'il en était ainsi, C, intersection de PF et DD′, coïncidèrait avec K, et par construction on a CK = CD différent de zéro.

(**) Pratiquement, il suffirait, en faisant voyager le système KCF sur DD′, de constater que l'angle KPF, différent de F′PF, ne cesse pas de faire partie nécessaire de ce système.

(***) Pratiquement, et pour l'enseignement élémentaire, en laissant de côté la question du zéro et de l'infiniment petit absolu, la démonstration suffisante consiste dans le § 1.

II. Prouver que pour α, α' consécutifs par continuité, on n'a jamais $\alpha > B$, $\alpha' < B$;

III. Conclure de ce que $\alpha > B$ existe, qu'il n'existe pas de $\alpha' < B$, c'est-à-dire une seconde parallèle, attendu qu'en passant de α à α', on aurait soit $\alpha = B$, soit B compris entre deux α consécutifs, ce qui est impossible, par I et II.

6. Il n'y a plus à chercher la théorie de la géométrie. Le véritable créateur en est, d'après ce qui précède (§ 2), c'est-à-dire d'après l'unique définition de l'espace des géomètres d'aujourd'hui comme des géomètres d'autrefois, Descartes, par la *Géométrie analytique;* et le caractère d'évidence irrésistible attribué par le sens commun à la géométrie s'explique, puisqu'il n'est autre que l'évidence propre à la science de la grandeur abstraite. *Il n'y a pas plus deux géométries qu'il n'y a deux mathématiques.*

Si l'identification expérimentale des objets physiques et des données mathématiques de la théorie participe aussi à ce caractère d'évidence, c'est que, bien loin de nous apparaître isolés, ils se présentent dans un tout systématique (l'espace), réalisation de l'ensemble mathématique unique, et où, si l'on peut dire ainsi, la place d'un objet déterminé est indiquée, à la manière d'une infinité de témoins, par celle de tous les autres.

C'est ainsi, par exemple, que les trois prétendues géométries, ou plutôt les trois espèces de droites de Lobatchefsky, Euclide et Riemann existant simultanément dans cet unique espace, aussi bien que les trois espèces de coniques, il n'est pas plus possible de confondre la droite vulgaire ou euclidienne avec une des deux autres, qu'il ne l'est de confondre la parabole avec

l'ellipse ou l'hyperbole; et l'imperfection de nos sens à cet égard existerait, que cela importerait peu à notre connaissance de l'espace, tout entière contenue dans l'unique définition qui en existe dans notre esprit. La ligne euclidienne, le plan, n'en existeraient pas moins, puisque l'équation du premier degré entre les indices (coordonnées) des éléments (points) existe dans l'espace, système d'éléments à trois indices, et le postulatum d'Euclide est rigoureusement démontré par la théorie de cette équation.

7. Nous terminerons par une observation sur le vrai sens et la portée des démonstrations de géométrie proprement dite, c'est-à-dire faites au moyen de la considération directe des figures.

La théorie de l'espace, ou la géométrie, conformément à la seule et unique définition qu'on soit jamais parvenu à donner de l'espace, définition qui est celle du général De Tilly comme elle était déjà celle de Descartes, n'est en fait, répétons-le, que celle d'un objet qui réalise les lois abstraites de la grandeur; comme je l'ai déjà signalé ailleurs (*), le nombre *trois* de ses dimensions est lui-même à tous égards un des traits les plus profonds de cette idée; par la portée de ses conséquences dans tous les ordres, elle apparaît comme la notion la plus capitale de notre connaissance du monde extérieur (**).

(*) *Étude du principe de la limite* (Bull. de l'Acad. roy. de Belgique (Classe des sciences), nos 9-10, 1901).

(**) Ce fait fondamental de la réalisation, par l'élément primordial du monde physique, des lois idéales de la grandeur abstraite, telles que les conçoit l'esprit de l'homme, est à lui seul une preuve directe de la création, et un coup d'une force irrésistible contre le transfor-

La voie directe et rationnelle pour démontrer les vérités géométriques est donc la voie algorithmique, fondée sur l'unique, c'est-à-dire seule possible, et par cela seule vraie définition de l'espace. Quant à la géométrie proprement dite, elle consiste à raisonner directement sur les éléments de la réalisation extérieure.

Ceux-ci, comme les lignes, les surfaces, etc., sont déjà des résultats complexes des éléments mathématiques simples (résultats de résolutions d'équations, intégrales définies, etc.). Lorsque des relations connues entre ces

---

misme et l'évolution à outrance. C'est en même temps un argument décisif pour la conception anthropocentrique de l'Univers, si bien mise en évidence tout récemment, en partant des faits astronomiques, par Wallace, l'illustre précurseur de Darwin, et déjà antérieurement, par la citation des mêmes faits, dans ma *Mathématique de l'Histoire*. D'ailleurs, si l'espace est une représentation des lois de la grandeur abstraite, celles-ci doivent se manifester dans le monde physique, qui n'est en quelque sorte qu'une sensibilisation de l'espace. Il existera un infiniment petit absolu de matière (en général de *substance*), c'est-à-dire la première quantité de matière à partir de zéro, donc *indivisible* ou *atome;* les lois chimiques de la composition et de la décomposition se feront, par cela seul, en dernier principe, par nombres entiers. Enfin, en rapport avec une belle remarque de M. le sous-lieutenant d'artillerie A. Dothey sur ce que l'infiniment petit absolu de cercle est un « hexagone », ce qui explique l'existence du nombre entier *6* dans le rapport de la circonférence au rayon (la partie dite incommensurable provenant du passage de l'infiniment petit au fini), le système primitif fondamental de la construction des corps doit être, comme il l'est en effet, et mis en évidence par la cristallisation, le système tétraédrique. Le monde physique n'est donc qu'une représentation sensible des lois les plus profondes de la grandeur abstraite.

objets complexes sont équivalentes à la connaissance des relations algorithmiques qui, par la méthode directe, conduiraient à l'établissement d'une relation nouvelle, on peut, en ne raisonnant que sur ces objets, faire ce qu'on appelle une démonstration de géométrie.

Il n'y a donc, à priori, si l'on en revient au cas du postulatum, nulle impossibilité à ce qu'en raisonnant directement sur les figures rectilignes d'un plan, on arrive à une démonstration purement géométrique de ce théorème, et on ne saurait absolument rien opposer à cela, en arguant des prétendues « géométries » de Lobatchefsky et de Riemann (*). Toute la question est d'introduire, en n'usant que de ces éléments résultants, toutes les conditions que renferme la définition algorithmique de la ligne droite.

On peut d'ailleurs convenir qu'une démonstration géométrique du postulatum est plus intéressante par sa difficulté qu'elle n'est vraiment utile, puisqu'en fait il est déjà démontré autrement et plus simplement par la théorie de l'espace. C'est en n'oubliant pas cette vraie position de la question, que je propose néanmoins l'essai actuel à la critique. D'après celle à laquelle il a déjà été soumis, je puis douter qu'il laisse encore place à quelque argument adverse, non aperçu et de valeur. Mais, quoi qu'il en soit, il peut être utile, rien que par la manière dont il met nettement en évidence la nécessité de la notion primordiale de l'infiniment petit absolu, base de l'analyse, notion rendue ici plus frappante encore par la

---

(*) Ce ne sont pas des « géométries » distinctes, puisque leur définition de l'espace est l'unique et seule possible définition de l'espace euclidien.

figuration géométrique, qu'elle ne le serait par la simple voie de l'équation analytique de la ligne droite (*).

(*) Il importe d'ailleurs de bien signaler que la démonstration présentée, si elle a une utilité actuelle, sacrifie encore au malheur des temps, en évitant de tirer des prémisses les plus générales de la géométrie tout ce qu'elles renferment, afin d'établir par cela, comme je le montrerai dans une autre communication, la plus directe et simple démonstration du postulatum, et avec elle une voie rationnelle d'exposition de la géométrie. Pour le moment, disons que, tout aussi bien que la notion de *distance* entre deux *points*, existe, au même titre nécessaire, celle d'*orientation* ou *direction* d'un point par rapport à un autre (ces notions : *point, distance, orientation,* pour éviter l'influence de la figuration, se remplaçant mieux par les termes *élément*, *module, caractéristique*). Cette notion d'*orientation,* d'abord, nous le répétons, indépendante de toute figuration, s'introduit en effet comme élément tout aussi *nécessaire* pour *différentier* entre eux les *points* B *équidistants* d'un *point* A, que la notion de *distance* (module) était *nécessaire* pour *distinguer* le point B du point A. On appellera dès lors *angle* ou *argument* la mesure d'une différence d'orientation. La grandeur *distance* a un minimum, ou infiniment petit absolu, qui est l'élément de toutes les lignes et longueurs.

La *ligne droite* est alors définie : la *ligne dont les éléments ont la même orientation ou direction.*

Pour démontrer le postulatum, on démontre :

1° Que deux droites de même direction ne se rencontrent pas;

2° Que dans un plan, deux droites de directions différentes se rencontrent (en combinant le 1° avec le Lemme : quand une droite a une partie dans un contour convexe donné, elle coupe ce contour en deux points). Dès lors une *parallèle* menée par un point à une droite dans un plan est la *droite de même direction ; elle est donc unique.*

On arrive ensuite, très simplement, à établir le lien nécessaire de la définition précédente de la droite et de celle de la droite comme plus courte distance [cette dernière, donnée dans les traités, n'étant, en fait, ensuite d'aucun usage dans l'étude des angles (sauf pour les théorèmes à inégalités, ou ceux qui s'appuient sur eux, qui n'y sont

pas d'abord nécessaires), où on ne se sert réellement que de l'idée, non exprimée, d'orientation], par les cas d'égalité des triangles, cas d'égalité qui introduisent la comparaison des surfaces, la mesure de celles du rectangle et du triangle, le carré de l'hypothénuse, et, par cette dernière propriété, la démonstration de la droite plus courte distance.

On conçoit aisément la portée de ce lien entre les définitions; sans rien changer aux prémisses de la géométrie élémentaire, il remplace la notion complexe de la plus courte distance par la notion primitive de la *direction* ou de l'*orientation,* notion qui, nous le répétons, résulte de l'introduction *nécessaire* d'un élément pour différentier entre eux les points qui sont à *même distance* d'un point donné, et de laquelle, nous venons de le montrer, on fait d'abord exclusivement usage sans s'en rendre compte.

C'est aussi une illusion de croire pouvoir éviter l'idée d'orientation en prenant pour repère un groupe de points, par exemple quatre, auxquels on rapporte les autres par leurs distances à ces points; attendu que, dans ce groupe lui-même, les points sont différentiés entre eux, et par rapport à l'un d'eux, par autre chose que par leurs distances à celui-ci.

On remarquera d'ailleurs soigneusement qu'en tout cela il n'y a aucun *postulat* nouveau.

La démonstration du postulatum d'Euclide ne consiste pas, en effet, à se servir seulement des *mots* formulés par ce géomètre, mais bien à tirer de ses prémisses tout ce qu'elles renferment, c'est-à-dire à raisonner, s'il le faut, sur ces seules prémisses, mieux et plus loin que lui; on s'aperçoit alors qu'il y a dans ces prémisses, qui sont des idées nécessaires, tout ce qu'il faut pour établir cette démonstration. La prétendue impossibilité de démontrer le postulatum, sans faire un postulat nouveau, ne peut donc provenir que de ce qu'on n'a pas assez approfondi Euclide lui-même; et quant aux prétendues « géométries » de Lobatchefsky et de Riemann, elles ne peuvent rien arguer là contre, puisqu'elles ne prennent pas pour sujet d'observation la collection des points, ou l'espace, mais bien une ligne particulière qui existe dans cet espace.

—

RECHERCHES SUR LA VOLATILITÉ DANS LES COMPOSÉS CARBONÉS; par Louis Henry, membre de l'Académie.

Sur la série de méthylation de l'oxyde de méthyle.

Au cours de recherches concernant les dérivés butyliques tertiaires, dont je rendrai compte plus tard, il m'est arrivé d'appeler à l'existence quelques éthers simples mixtes encore inconnus. L'idée m'est venue alors de compléter la série de *méthylation* de l'oxyde de méthyle $(H_3C)_2O$.

Cet oxyde est le plus simple et le type des anhydrides d'alcools. Ses dérivés méthylés — H étant remplacé par CH_3 — constituent aussi les plus simples parmi les dérivés polycarbonés issus de ce composé primordial. A ce titre, ils offrent un intérêt particulier.

L'oxyde de méthyle $H_3C\text{-}O\text{-}CH_3$, composé hexahydrogéné, peut subir *six* fois la substitution méthylique; le nombre des dérivés de méthylation est néanmoins supérieur, et s'élève à *neuf*, par la raison que les dérivés *bi*, *tri* et *tétra* méthylés sont représentés chacun par deux individualités distinctes, suivant la disposition des groupements *méthyle* H_3C- dans la molécule primitive $(H_3C)_2O$.

DÉRIVÉS. — *Mono-méthylés.*

		Nombres.
$\begin{matrix} H_3C - CH_2 \\ H_3C \end{matrix} > O$	(*)	1

Bi-méthylés.

$\begin{matrix} (H_3C)_2 - CH \\ H_3C \end{matrix} > O$		
		2
$\begin{matrix} H_3C - CH_2 \\ H_3C - CH_2 \end{matrix} > O$	(*)	

Tri-méthylés.

$\begin{matrix} (H_3C)_3 - C \\ H_3C \end{matrix} > O$		
		2
$\begin{matrix} (H_3C)_2 - CH \\ H_3C - H_2C \end{matrix} > O$	(*)	

Tétra-méthylés.

$\begin{matrix} (H_3C)_3 - C \\ H_3C - CH_2 \end{matrix} > O$	(*)	
		2
$\begin{matrix} (H_3C)_2 - CH \\ (H_3C)_2 - CH \end{matrix} > O$	(*)	

Penta-méthylés.

$\begin{matrix} (H_3C)_3 - C \\ (H_3C)_2 - CH \end{matrix} > O$		1

Hexa-méthylés.

$\begin{matrix} (H_3C)_3 - C \\ (H_3C)_3 - C \end{matrix} > O$		1
	Total . . .	9

De cet ensemble de composés, cinq sont connus aujourd'hui, ceux que j'ai marqués d'une (*).

Je ferai d'abord connaître ceux qui ont été récemment appelés à l'existence.

*
* *

Oxyde de méthyle-isopropyle.

$$H_3C - O - CH < \begin{matrix} CH_3 \\ CH_3. \end{matrix}$$

Ce corps résulte de l'action de l'iodure de méthyle sur l'isopropylate sodique.

On dissout le sodium dans 20 à 25 fois son poids d'alcool isopropylique et l'on introduit la quantité équivalente d'iodure de méthyle. On chauffe doucement au bain d'air dans un appareil à reflux. La réaction marche avec une certaine lenteur. On chasse l'oxyde mixte formé — auquel on est autorisé par l'analogie à assigner un point d'ébullition vers 30°-35° — par la distillation ménagée de la masse. Jusque vers 40° le produit brut est rectifié sur du sodium. Le rendement de l'opération approche de l'intégralité.

Cet éther *méthyl-isopropylique* $(H_3C)_2 - CH(OCH_3)$ constitue un liquide incolore, très mobile, d'une agréable odeur éthérée, plus léger que l'eau et très peu soluble dans celle-ci.

Sa densité à 20°, par rapport à l'eau à la même température, est égale à 0.7347.

Il bout à 32°,5 sous la pression de 777 millimètres.

Sa densité de vapeur, déterminée par la méthode de Meyer, a été trouvée égale à 2.543.

Substance : 0gr,0912. — Volume gazeux expulsé : 28cc,95 à 14° et sous la pression de 777 millimètres.

La densité calculée est 2.557.

L'indice de réfraction à 20°, dans l'appareil de Pülfrich, est 1.35756, d'où l'on déduit comme pouvoir réfringent moléculaire 22.11, alors que le calcul conduit à 22.17.

Oxyde de méthyl-butyl-tertiaire.

$H_3C - O - C - (CH_3)_3$.

Ce corps a été obtenu par deux procédés différents :

a) A l'aide du bromure de butyle tertiaire sur l'alcool méthylique ;

b) A l'aide de l'iodure de méthyle sur l'alcool butylique tertiaire.

a) Bromure de butyle tertiaire $(H_3C)_3$ C-Br (*) sur alcool méthylique. M. Reboul a constaté, il y a longtemps déjà (**), que des éthers bromhydriques chauffés avec de l'alcool absolu, tenant en dissolution de la tri-éthylamine, fournissent des éthers mixtes et des sels de cette base nitrilée. C'est ainsi que le bromure de butyle

(*) Le *bromure de butyle tertiaire* $(H_3C)_3C - Br$ s'obtient très aisément en saturant de gaz HBr l'alcool butylique $(H_3C)_3 - C(OH)$. La réaction est très vive; il se forme deux couches liquides : l'inférieure est une solution aqueuse de HBr. Le produit $(H_3C)_3 - CBr$ bout fixe à 72°. Le rendement est intégral.

(**) *Comptes rendus*, t. XCII, pp. 1422, 1464; t. XCIII, p. 69, année 1881.

tertiaire fournit dans ces conditions l'*oxyde mixte éthyl-butylique* $(H_3C)_3 - C - (O - C_2H_5)$.

L'*oxyde de méthyle-butyle* tertiaire $(H_3C)_3 - C - (OCH_3)$ a d'abord été obtenu dans des conditions analogues. On avait chauffé, en vase clos, à 100° dans de l'eau, en tube scellé, du bromure de butyle $(H_3C)_3 - CBr$ avec une solution à 33 % de *diméthylamine* $(H_3C)_2$ NH dans l'alcool méthylique. Il s'est formé dans le tube une abondante cristallisation de bromhydrate de diméthylamine ; il régnait à l'intérieur du tube une pression due à de l'*isobutylène* $\begin{matrix} H_3 \\ H_3 \end{matrix} > C = CH_2$. La distillation du liquide a fourni abondamment de l'oxyde de *méthyl-pseudobutyle* bouillant vers 57°-60° sous la pression de 745 millimètres (*).

b) Une autre fois, on a fait agir l'iodure de méthyle sur le butylate sodique tertiaire $(H_3C)\,C - ONa$, réaction qui constitue une méthode plus directe pour arriver à ce composé.

La quantité d'alcool butylique tertiaire employée était 100 grammes. On y a introduit du sodium jusqu'à refus et puis la quantité d'iodure de méthyle correspondante. La réaction étant terminée, par une caléfaction dans un appareil à reflux, on a recommencé à diverses reprises successives l'introduction du sodium et de l'iodure de méthyle. Puis on a soumis la masse à la distillation

---

(*) Cette réaction avait été réalisée dans le but d'obtenir la *diméthyl-butyl tertiaire amine* $(H_3C)_3 - C.N(CH_3)_2$ que j'avais besoin de connaître au point de vue de la volatilité dans les amines cyanées. On avait constaté auparavant qu'avec une solution aqueuse de diméthylamine à 33°, le bromure de butyle tertiaire fournit de l'alcool butylique correspondant. Une forte pression due à de l'*isobutylène* $\begin{matrix} CH_3 \\ CH_3 \end{matrix} > C = CH_2$ régnait à l'intérieur des tubes.

jusqu'à ce que le thermomètre indiquât 70°. Ce produit liquide a été agité avec de l'eau qui lui a enlevé une certaine fraction de son volume consistant en alcool butylique. L'éther surnageant a été distillé. Après quelques rectifications, il a passé fixe de 53° à 55° sous la pression de 764 millimètres. Après avoir été mis en contact avec du sodium qui réagit encore sur lui, faiblement, il a été de nouveau distillé, et a passé fixe à 54°-55°.

Cette méthode est longue, mais elle fournit un produit d'une remarquable pureté, sans entraîner de pertes dans la quantité d'alcool employée.

L'*oxyde de méthyl-butyle tertiaire* $(H_5C)_3-C(OCH_3)$ constitue un liquide incolore d'une grande mobilité, d'une agréable odeur poivrée.

Ce corps est insoluble dans l'eau qu'il surnage. Sa densité à 20° est égale à 0.7578.

Il bout fixe à 54°-55° sous la pression ordinaire.

Sa densité de vapeur a été trouvée, dans l'appareil Meyer, égale à 3.03.

Substance : 0gr,0850. — Volume de gaz expulsé : 22cc,6 à 14° sous la pression de 777 millimètres.

La densité calculée est 3.037.

Son indice de réfraction, à 20°, dans l'appareil de Pülfrich, a été trouvé égal à 1.37566; on en déduit comme pouvoir réfringent moléculaire 26.60, alors que la théorie correspond à 26.79.

Oxyde d'isopropyle-butyle tertiaire.

$$(H_3C)_3-C-O-CH-(CH_3)_2.$$

Ce produit a été obtenu par deux voies différentes :

1° *Réaction du chlorure de butyle tertiaire sur l'alcool isopropylique*, en présence de la pyridine.

En fait, 27 grammes de $(H_5C)_3 - CCl$ mélangés à 36 grammes d'alcool isopropylique et 24 grammes de pyridine, ont été chauffés dans une ampoule scellée, au bain d'eau à 100°, pendant environ cinq heures.

A l'ouverture de l'ampoule, il s'est dégagé notablement du gaz isobutylène $\left((H_5C)_2 - C = CH_2\right)$. Le liquide, resté homogène, a été versé dans l'eau et la couche surnageante recueillie. Desséchée sur du chlorure de calcium, elle bout entre 70° et 80°.

2° *Action de l'acide sulfurique sur un mélange d'alcools butylique tertiaire* — 1 mol., *et d'alcool isopropylique* — 2 mol.

En fait, 37 grammes d'alcool $(H_5C)_3 - C(OH)$ et 60 grammes d'alcool $(H_5C)_2 - CH(OH)$, auxquels on avait ajouté 1 centimètre cube d'acide H_2SO_4, ont été chauffés en vase clos, à 100°, pendant environ cinq heures. A l'ouverture de l'ampoule, il s'est dégagé abondamment du gaz isobutylène $(H_5C)_2 - C = CH_2$. Le liquide versé dans l'eau a fourni aussi une couche surnageante de l'éther mixte formé, mais moins considérable, relativement, que dans l'opération précédente. Desséché sur $CaCl_2$, ce liquide bout aussi de 70° à 80°.

Le rendement de ces opérations est médiocrement satisfaisant. Peut-être est-il resté une partie du produit formé en dissolution, dans l'eau alcoolisée ou acidulée, qui a servi à le faire apparaître.

On aurait vraisemblablement plus de succès en faisant agir un éther haloïde isopropylique, notamment $(H_5C)_2 - CHBr$ sur l'alcool butylique tertiaire. Cette réaction n'a pas été réalisée.

Le produit venant des deux opérations décrites plus haut a été, dans le but de le débarrasser de toute trace

d'alcool libre, laissé en contact avec de minces lamelles de sodium, à chaud. Soumis à une nouvelle rectification, il bout à 75° - 76° sous la pression de 768 millimètres.

L'oxyde d'*isopropyl-butyl-tertiaire* constitue un beau liquide très mobile, incolore, d'une odeur très délicate, insoluble dans l'eau et moins dense que celle-ci. Sa densité à 20° est égale à 0.7734.

Il bout, sous la pression de 768 millimètres, à 75°-76° toute la colonne mercurielle dans la vapeur. Sa densité de vapeur, déterminée par la méthode de Meyer, a été trouvée égale à 3.95.

Substance : 0gr,0589. — Volume de gaz recueilli à 15° p. 764 millimètres : 12cc,3.

La densité calculée est 4.009.

Son indice de réfraction dans l'appareil de Pülfrich a été trouvé égal à 1.3858; d'où l'on déduit pour le pouvoir réfringent moléculaire 35.17, alors que le calcul correspond à 35.006.

Oxyde d'éthyl-butyl-tertiaire.

$$(H_3C)_3 - C - O - CH_2 - CH_3.$$

Ce produit a été obtenu et décrit pour la première fois, en 1883, par M. Reboul (*). Il résultait de l'action du bromure de butyle tertiaire $(H_3C)_3$ - CBr sur l'alcool absolu en présence de la triéthylamine $(H_5C_2)_3N$. M. Reboul lui attribuait pour point d'ébullition 68°-69° sous la pression ordinaire.

(*) *Jahresbericht der Chemie,* 1881, p. 409.

Ce chiffre pouvait inspirer quelque défiance, car, par une réaction semblable, l'action de l'iodure d'isopropyle $(H_3C)_2$-CHI sur l'alcool absolu en présence de la même amine tertiaire, M. Reboul avait préparé l'*oxyde d'éthyl-isopropyle* $(H_3C)_2$-CH-OCH_2-CH_3, auquel il avait attribué 47°-48° pour point d'ébullition. Or ce composé bout en réalité à 54° (Markownikoff, Lippert, etc.).

En 1901, cet éther *éthyl-butylique tertiaire* $(CH_3)_3$-C. (OC_2H_5) a été refait par un chimiste russe dans d'autres circonstances.

M. W. Mamontoff (*) l'a obtenu dans des conditions très favorables — rendement 72 % — en faisant agir l'acide H_2SO_4 en faible quantité sur un mélange d'alcool éthylique et d'alcool butylique tertiaire. Il lui assigne 73° comme point d'ébullition sous la pression ordinaire.

J'ai fait refaire à mon tour ce composé par le procédé Mamontoff, déclaré si avantageux par son auteur.

22 grammes d'alcool butylique tertiaire — $^3/_{10}$ de molécule — mélangés à 26 grammes d'alcool éthylique anhydre — $^6/_{10}$ de molécule — ont été chauffés, après addition de 1 centimètre cube de H_2SO_4 en vase clos, au bain d'eau à 100° pendant six à sept heures. Le liquide est resté homogène; versé dans l'eau, il s'est séparé 14 grammes de produit insoluble. A l'ouverture du tube, on n'avait constaté qu'un dégagement très faible de gaz combustible, évidemment de l'*isobutylène* $(H_3C)_2$-C=CH_2.

Le produit desséché a passé à une première distillation à 68°-69°. Après un double traitement au sodium, pour le débarrasser de toute trace d'alcool libre, il a passé fixe à 70° sous la pression de 758 millimètres.

(*) *Chemisches Centralblatt,* 1901, t. II, p. 408.

Sa densité à 20° a été trouvée égale à 0.7519.

Son indice de réfraction à 20° dans l'appareil de Pülfrich a été trouvé égal à 1.3794, d'où l'on a déduit pour pouvoir réfringent moléculaire 31.399, alors que le calcul conduit à 31.33. J'adopterai donc 70° comme point d'ébullition de ce corps, chiffre plus voisin de celui de Reboul que de celui de Mamontoff.

Il restait à faire l'*oxyde de butyl-tertiaire* lui-même $[(H_3C)_3\text{-}C]O$.

On sait que M. Reboul (*) a déjà tenté vainement de l'obtenir pour compléter la série des anhydrides, simples et mixtes, des divers *alcools butyliques* H_9C_4 - OH.

Les diverses tentatives faites pour réaliser ce composé, dans mon laboratoire, n'ont pas eu plus de succès, et j'en suis contrarié. Ce corps, complétant la série de méthylation de l'oxyde de méthyle, doit être regardé comme un terme important au point de vue des relations d'ordre physique à établir entre les divers termes de ce groupe intéressant.

*
* *

Dans l'étude comparative à faire, *au point de vue physique*, de ces divers composés, je m'occuperai spécialement de la *volatilité*.

1° Les dérivés *bi-* et *tétra-méthylés* sont chacun représentés par deux variétés isomères, l'une *symétrique* et l'autre *dissymétrique*.

(*) *Bulletins de la Société chimique de Paris,* t. II (III), pp. 24 et suiv., année 1889.

Dérivés *bi-méthylés*.

		Différence.
$H_3C - CH_2$ > O $H_3C - CH_2$	Éb. 35°	− 3°
H_3C H_3C > CH CH_3 > O	Éb. 32°	

Dérivés *tétra-méthylés*.

		Différence.
H_3C H_3C > CH H_3C H_3C > CH > O	Éb. 68°-69°	± 1° ou 2°
H_3C H_3C — H_3C > C $H_3C - CH_2$ > O	Éb. 70° (+)	

Les dérivés *tri-méthylés* sont également représentés par deux variétés isomères.

H_3C H_3C > CH $H_3C - CH_2$ > O	Éb. 54°	± 0
H_3C H_3C — H_3C > C CH_3 > O	Éb. 52°-53°	

Il résulte de là que le point d'ébullition n'est pas influencé ou ne l'est que dans une très faible mesure, par l'ordre de distribution des groupements $-CH_3$ substitués à l'hydrogène dans le composé primordial $\begin{matrix} H_3C \\ H_3C \end{matrix} > O$.

2° Le point d'ébullition est sous la dépendance exclusive ou presque exclusive du poids moléculaire, par conséquent du degré de la *méthylation*, du nombre des groupements $-CH_3$ substitués à H dans $\begin{matrix} CH_3 \\ CH_3 \end{matrix} > O$.

Voici quelques remarques à ce sujet :

3° Je considérerai d'abord les dérivés d'une *méthylation* unilatérale, accomplie dans un seul des groupements H_3C- du composé primordial.

	Poids moléculaire.		Ebullition.	Différence.
$\begin{matrix} H_3C \\ H_3C \end{matrix} > O$	46		− 23°	
		15		+ 34°
$H_3C - CH_2 \atop CH_3 > O$	60		+ 11°	
		15		+ 21°
$\begin{matrix} H_3C \\ H_3C \end{matrix} > CH \atop CH_3 > O$	74		+ 32°	
		15		+ 22°
$\begin{matrix} H_3C \\ H_3C \\ H_3C \end{matrix} > C \atop CH_3 > O$	88		+ 54°	

Les différences entre les poids moléculaires du chef de la méthylation progressive sont les mêmes, mais on voit combien différemment en sont influencés les points d'ébullition dans leur élévation progressive. La première méthylation exerce sous ce rapport une influence prépondérante.

4° Des observations du même genre, mais avec plus de régularité, peuvent être formulées en ce qui concerne les dérivés méthylés divers provenant du remplacement progressif de H par $-CH_3$ dans des dérivés primordiaux déjà *mono-*, *bi-* ou *tri-*méthylés eux-mêmes.

a) *Éther méthylique mono-méthylé.*

	Poids moléculaire.	Ebullition.	Différence.
$\begin{matrix} H_3C-CH_2 \\ H_3C \end{matrix} > O$	60	+ 11°	
			+ 24°
$\begin{matrix} H_3C-CH_2 \\ H_3C-CH_2 \end{matrix} > O$	74	+ 35°	
			+ 19°
$\begin{matrix} H_3C-CH_2 \\ H_3C \\ H_3C \end{matrix} > CH \Big\rangle O$	88	+ 54°	
			+ 16°
$\begin{matrix} H_3C-CH_2 \\ H_3C \\ H_3C-C \\ H_3C \end{matrix} \Big\rangle O$	102	+ 70°	

b) *Éther méthylique di-méthyle.*

	Poids moléculaire.	Ebullition.	Différence.
$\begin{matrix} H_3C \\ H_3C \end{matrix} > CH \Big\rangle O$, CH_3	74	32°	
			22°
$\begin{matrix} H_3C \\ H_3C \end{matrix} > CH \Big\rangle O$, $H_3C - CH_2$	88	54°	
			14°-15°
$\begin{matrix} H_3C \\ H_3C \end{matrix} > CH \Big\rangle O \Big\langle \begin{matrix} H_3C \\ H_3C \end{matrix} > CH$	102	68°-69°	
			6°-7°
$\begin{matrix} H_3C \\ H_3C \end{matrix} > CH \Big\rangle O \Big\langle \begin{matrix} H_3C \\ H_3C - \\ H_3C \end{matrix} > C$	116	75°	

c) *Éther méthylique tri-méthylé.*

	Poids moléculaire.	Ébullition.	Différence.
$(H_3C)_3 - C$, $H_3C > O$	88	54°	
			16°
$(H_3C)_3 - C$, $H_3C - CH_2 > O$	102	70°	
			5°
$(H_3C)_3 - C$, $(H_3C)_2 - CH > O$	116	75°	
$(H_3C)_3 - C$, $(H_3C)_3 - C > O$	130		

Les différences entre les points d'ébullition de deux termes voisins deviennent de plus en plus faibles à mesure que ceux-ci représentent un degré de méthylation plus avancé et que, par conséquent, leur poids moléculaire est plus élevé.

En voici l'ensemble :

	1re	2e méthylation.	3e
Oxyde de méthyle.	34°	21°	22°
Id. 1-méthylé	24°	19°	16°
Id. bi-méthylé.	22°	14°-15°	6°-7°
Id. tri-méthylé	16°	5°	

Partant de là, on est autorisé à croire que l'*oxyde de butyle tertiaire*, encore inconnu, $[(H_5C)_5 - C]O$, a le même point d'ébullition ou un point d'ébullition très voisin de celui du dérivé qui le précède immédiatement dans la série, à savoir l'*oxyde d'isopropyl-butyl tertiaire* $(H_5C)_3 - C - O - CH - (CH_3)_2$, éb. 75°-76°, de même que l'alcool *butylique* tertiaire $(H_5C)_5 . C(OH)$ a sensiblement le même point d'ébullition que l'alcool *isopropylique* $(H_5C)_2 - CH(OH)$, éb. 83°.

5° Les dérivés *dissymétriques* sont formés de la réunion, vis-à-vis de l'oxygène, des moitiés des deux dérivés symétriques correspondants, c'est-à-dire que leur poids moléculaire est la moyenne des poids moléculaires de ceux-ci. Il n'en est pas ainsi toutefois de leurs points d'ébullition.

	Poids moléculaire.	Ebullition.	Moyenne.
$\begin{matrix} H_3C \\ H_3C \end{matrix} > O$	46	− 23°	+ 6°
$\begin{matrix} H_3C - CH_2 \\ H_3C - CH_2 \end{matrix} > O$	74	+ 35°	
$\begin{matrix} H_3C - CH_2 \\ CH_3 \end{matrix} > O$	60	+ 11°	
$\begin{matrix} H_3C \\ H_3C \end{matrix} > O$	46	− 23°	+ 23°
$\begin{matrix} (H_3C)_2 - CH \\ (H_3C)_2 - CH \end{matrix} > O$	102	+ 68°-69°	
$\begin{matrix} H_3C \\ (H_3C)_2 - CH \end{matrix} > O$	74	32°	

Il est regrettable que cette relation ne puisse pas être établie pour le dérivé $(H_3C)_3 - C - O - CH_3$, l'oxyde de butyle tertiaire $[(H_3C)_3 - C]O$ étant inconnu.

	Poids moléculaire.	Ébullition.	Moyenne.
$\begin{matrix} H_3C - CH_2 \\ H_3C - CH_2 \end{matrix} > O$	74	35°	52°
$\begin{matrix} (H_3C)_2 - CH \\ (H_3C)_2 - CH \end{matrix} > O$	102	68°-69°	
$\begin{matrix} H_3C - CH_2 \\ (H_3C)_2 - CH \end{matrix} > O$	88	54°	

L'absence de l'oxyde de butyle tertiaire ne permet pas cette comparaison pour d'autres termes que ceux-là.

On voit qu'il en est de ces mixtes, au point de vue de

la volatilité, comme des *mixtes* renfermant des radicaux X et X′ non fonctionnellement équivalents. Leur point d'ébullition est plus élevé que la moyenne des points d'ébullition des simples correspondants, alors qu'il est précisément égal à cette moyenne dans les mixtes où les radicaux X et X′ sont fonctionnellement équivalents.

		Moyenne.
$H_2C - Cl_2$	Éb. 42°	> 42°
$H_2C - (OCH_3)_2$	Éb. 42°	
$H_2C < \begin{matrix} Cl \\ OCH_3 \end{matrix}$	Éb. 59°	

		Moyenne.
$H_2C - Cl_2$	Éb. 42°	> 70°
$H_2C - Br_2$	Éb. 98°	
$H_2C < \begin{matrix} Cl \\ Br \end{matrix}$	Éb. 68°-70°	

Les radicaux CH_3 et ses dérivés, $H_3C - CH_2$, $(H_3C)_2 - CH$, etc., sont cependant fonctionnellement équivalents, mais fort différents en nature et en structure. Il semble résulter de là que la différence qui existe entre le point d'ébullition d'un mixte et la moyenne des points d'ébullition des deux simples correspondants, est d'autant plus considérable que les radicaux fixés sur O sont plus différents quant à leur degré de méthylation.

6° La méthylation détermine une élévation dans le point d'ébullition d'autant moindre qu'elle s'exerce dans un fragment moins hydrogéné du groupement primitif $H_3C -$. Il résulte de là qu'une méthylation, bilatérale ou double, détermine dans le point d'ébullition une éléva-

tion notablement plus considérable, si elle est réalisée dans un dérivé dissymétrique que si elle est réalisée dans le dérivé isomère, symétrique, correspondant.

Voici un exemple intéressant de ce fait :

Dérivés bi-méthylés.

a) *Dérivés symétriques.*

			Différence.
H_3C-CH_2 / H_3C-CH_2 > O	Éb. 35°		35° à 34°
H_3C / H_3C > CH, H_3C / H_3C > CH > O	Éb. 68°-69°		

b) *Dérivés dissymétriques.*

H_3C / H_3C > CH, H_3C > O	Éb. 32°	38°
H_3C / H^3C — > C, H_3C / H_3C-H_2C > O	Éb. 70°	

* * *

L'oxyde de méthyle avec sa série de méthylation constitue un ensemble de dérivés dont l'étude me paraît devoir être intéressante au point de vue chimique.

La simplicité de leur composition est digne de remarque. On n'y rencontre en effet que le radical primordial *méthyle* H_3C- avec ses fragments de déshydrogénation H_2C-, $HC<$, $C\leqslant$, lesquels, associés au méthyle lui-même, constituent les radicaux équivalents H_3C-CH_2, $\begin{matrix}H_3C\\H_3C\end{matrix}>CH$, $(H_3C)_3-C$.

L'action méthodiquement réalisée des corps hologènes en tant qu'agents substituants, et notamment du chlore sur certains d'entre eux, me paraît de nature à fournir des indications du plus haut intérêt quant à l'influence qu'exerce le voisinage de l'oxygène et du carbone sur les propriétés de l'hydrogène. Je signalerai dès à présent, sous ce rapport, l'oxyde de *méthyl-butyl-tertiaire*

$$\begin{matrix}H_3C\\H_3C-\\H_3C\end{matrix}\Big\rangle C-O-CH_3 \qquad \text{Éb. } 54^\circ.$$

Ainsi qu'on le voit à la simple inspection de cette formule, on ne rencontre dans la molécule de ce corps que des groupements *méthyle* H_3C, mais *l'un* d'entre eux est sous l'influence immédiate de l'oxygène

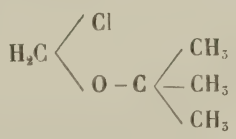
$$-O-CH_3,$$

tandis que les *trois* autres ne le sont qu'au travers ou par l'intermédiaire d'un atome de carbone

$$\begin{matrix}H_3C\\H_3C-\\H_3C\end{matrix}\Big\rangle C-O-$$

J'en conclus que l'action substituante du chlore se portera de préférence, et même exclusivement, sur le

composant $O - CH_3$ pour donner comme produit initial l'oxyde de butyl tertiaire, méthyle monochloré



le même produit que l'on obtiendrait sans doute par l'action de l'acide chlorhydrique sur le méthanal en solution aqueuse en présence du triméthyl-carbinol $(H_3C)_3 - C(OH)$.

Je me propose de faire examiner ce point dans mon laboratoire. A cette occasion, je rappellerai que l'*acétate* de méthyle $H_3C - \underset{\underset{O - CH_3}{|}}{C} = O$ qui se présente, quant au groupement méthyle $-CH_3$ dans les mêmes conditions, se comporte, sous l'action du chlore, comme je viens de l'indiquer. J'ai constaté (*), en effet, que l'on obtient comme premier produit de chloruration, le *chloro-acétate de méthylène*

$$H_2C < \begin{matrix} Cl \\ O - CO - CH_3, \end{matrix}$$

qui s'obtient si avantageusement par l'addition du chlorure d'acétyle $H_3C - COCl$ au méthanal $(H_2C = O)_n$.

L'action des hydracides halogènes sur cet ensemble d'éthers simples et mixtes me paraît de nature à fournir

---

(*) *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique,* t. XXXV (2), p. 717, (année 1873)..

des observations fort instructives au point de vue de l'équivalence relative des radicaux C_nH_{2n+1} qui s'y trouvent fixés sur l'oxygène; mais, pas plus que l'action substituante du chlore, dans ses diverses phases successives, cette question n'est entière.

A la suite des expériences de MM. Lippert (*) et Mamontoff (**), il est possible de partager en deux groupes l'ensemble de ces éthers :

a) Ceux qui ne renferment aucun radical tertiaire $(H_3C)_3 \geqslant C$ - paraissent suivre la loi formulée par Silva (***), en 1875, à la suite de quelques cas particuliers, à savoir que *le corps halogène se fixe sur le radical le moins carboné et l'hydroxyle* - OH *sur le radical le plus carboné*

$$\left.\begin{array}{l} H_3C \\ H_3C \end{array}\!\!> CH \right\rangle O + HI = H_3C - CH_2I + \begin{array}{l} H_3C \\ H_3C \end{array}\!\!> CH(OH).$$

b) Ceux, au contraire, qui renferment le radical tertiaire $(H_3C)_3 \geqslant C$- fournissent celui-ci à l'état d'éther halogéné, l'hydroxyle se fixant sur l'autre radical

$$\left.\begin{array}{l} H_3C \\ H_3C - \\ H_3C \end{array}\!\!> C \right\rangle O + HX = H_3C - CH_2(OH) + \begin{array}{l} H_3C \\ H_3C - \\ H_3C \end{array}\!\!> C - X.$$

Ce renversement est déterminé, ou plus justement

(*) *Liebig's Annalen der Chemie,* t. CCLXXVI, p. 148, année 1893.
(**) *Chemisches Centralblatt,* 1897, t. II, p. 408.
(***) *Jahresbericht für Chemie,* 1875, p. 250.

s'explique par l'intensité de l'aptitude éthérifiante des hydracides halogénés vis-à-vis des alcools tertiaires.

Quoi qu'il en soit, je me propose de faire reprendre l'examen de cette question pour divers termes de cette série générale.

Je tiens à constater toute la part qui revient dans la partie expérimentale de ce travail à mon assistant, M. Auguste De Wael, à qui j'adresse tous mes remerciements.

—

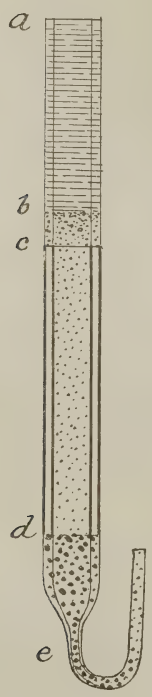
Note sur les modes d'imprégnation des roches;
par P. De Heen, membre de l'Académie.

L'un des phénomènes les plus intéressants d'imprégnation des roches se trouve dans ce fait que si l'on vient à humecter la surface de certaines couches, l'eau la traverse sans qu'il soit possible d'y découvrir ce liquide *comme tel*, mais il ne tarde pas à remplir après un certain temps les pores d'une couche perméable sous-jacente, par exemple une couche sableuse, ou de devenir apparent si cette couche sous-jacente est limitée par une surface solide cohérente.

L'interprétation à donner à ce phénomène paraît devoir être la suivante : les grains de la couche considérée sont eux-mêmes doués de pores, mais les dimensions de ceux-ci atteignent une telle ténuité que leur section est de l'ordre de grandeur de la sphère d'activité moléculaire de l'eau, c'est-à-dire de l'ordre de millionièmes de millimètre. Il est inutile de dire que ces pores peuvent ou bien traverser le grain ou être déter-

minés par des canaux d'une ténuité extrême à la surface du grain lui-même. Nous les désignerons sous le nom de *micropores*. Lorsque l'épaisseur de la couche liquide mouillante ne dépasse pas cette limite, le liquide se comporte comme *faisant corps* avec le solide lui-même. Dans cet *état superficiel*, il est impossible de le voir à l'état libre.

Afin de vérifier cette hypothèse par l'expérience, nous avons procédé de la manière suivante : Dans la partie inférieure d'un tube en verre, on introduit d'abord une couche de sable *de*, destinée à représenter la couche aquifère. Le tube n'est pas fermé à sa partie inférieure, mais effilé en pointe afin de permettre le départ de l'air. Au-dessus du sable, en *bd*, on introduit une couche de limon pulvérisé en poudre impalpable. Si l'on vient à introduire de l'eau en *ab*, on remarque d'abord que la partie supérieure de l'argile s'imprègne complètement d'eau. Dans ces conditions, par suite d'un effet de réfraction, le contact de l'eau et du verre fait que le cylindre de limon apparaît comme ayant un diamètre égal au diamètre extérieur du tube. Mais lorsque l'imprégnation s'est faite sur une hauteur *bc*, le débit diminue déjà suffisamment pour qu'il ne puisse plus alimenter à la fois les *pores* et les *micropores*. Et comme ces derniers, par suite de leur petit diamètre, ont une puissance



de succion incomparablement plus grande que les premiers, ce sont également eux qui servent exclusivement de véhicule à l'eau à partir de ce moment. Le tube n'est plus mouillé, et le diamètre du cylindre de limon apparaît comme ayant un diamètre égal au diamètre intérieur du tube en verre, et l'on voit à la loupe les grains d'argile sans interposition d'eau.

Les choses se passent ainsi jusqu'au moment où l'eau traversant les *micropores* atteint la surface du sable en *d*. L'eau sort alors de ces espaces ultracapillaires et pénètre dans les pores du sable, elle imbibe complètement celui-ci, et le cylindre de sable apparaît de nouveau comme ayant un diamètre égal au diamètre extérieur du tube, de même qu'en *be*. Le liquide, en un mot, redevient complètement libre, et, en résumé, le liquide a traversé la couche de limon à l'*état superficiel*.

Si l'on supprime la couche de sable, le liquide apparaît comme tel à la partie inférieure du tube.

Une vérification intéressante de cette hypothèse se trouve dans ce fait, connu des enfants, que si l'on donne une série de petits coups sur du sable simplement humide, l'eau apparaît comme telle. Cette opération a en effet eu pour résultat d'arranger les grains de manière à emboîter les parties pleines de leurs surfaces dans les parties creuses qui constituent les *micropores*. L'eau en est donc exprimée; mais il suffit de déformer la masse pour supprimer ces emboîtements et voir l'eau disparaître de nouveau.

—

Conception nouvelle du zéro absolu; par P. De Heen, membre de l'Académie.

L'idée que l'on se faisait de la constitution de la matière en partant de la considération unique des phénomènes qui correspondent à la chaleur, peut se résumer en disant que la substance matérielle est formée de petits corps durs, doués d'élasticité, auxquels on avait donné le nom d'atomes ou de molécules. Ces petits corps, animés de mouvements plus ou moins rapides, produisaient par cela même la sensation de chaleur. Au zéro absolu, tout est en repos, la matière devient une espèce de matière morte.

Telle est l'idée simpliste dont nous avons dû nous contenter pendant un grand nombre d'années et qui représente le premier stade de l'évolution de la pensée vers la connaissance de la matière.

Depuis quelque temps, il est vrai, on a reconnu l'insuffisance de cette hypothèse, et l'on a mélangé aux petits corps durs d'autres petits corps auxquels on attribue une sorte d'essence mystérieuse et que l'on désigne sous le nom d'électrons.

Cette dernière tentative montre cependant qu'en tenant exclusivement compte des phénomènes calorifiques, on arrive à une conception incomplète de la matière, et il paraît évident qu'en imaginant une constitution de la matière qui pourra à la fois tenir compte des phénomènes calorifiques et électriques, on sera arrivé au deuxième stade de l'évolution vers la connaissance de la substance.

Supposons maintenant que nous soyons arrivés au sommet de l'évolution de ce deuxième stade, qu'en un mot tous les phénomènes électriques et calorifiques soient devenus la conséquence évidente de cette théorie. Faudrait-il croire, même alors, que nous serons arrivés à la limite de nos connaissances? (Il est assez curieux de remarquer qu'il existe des physiciens qui pensent même dès à présent que la science future sera exclusivement fondée sur les bases que nous possédons actuellement.) Évidemment non. La deuxième étape accomplie, il restera à en faire une troisième, peut-être plus difficile, et l'on pourra alors encore qualifier de *simpliste* l'idée que l'on se fait de la constitution de la substance, dont les éléments sont constitués de telle manière qu'ils développent non seulement, par la nature même de leur mécanisme, les phénomènes calorifiques et électriques, mais encore les phénomènes vitaux.

La matière est-elle bien aussi *morte*, aussi dénuée de mouvement au zéro absolu que l'observation des phénomènes calorifiques semble l'indiquer? L'étude de la radioactivité démontre qu'il n'en est rien, que même dans le voisinage du zéro absolu, cette manifestation de l'énergie conserve toute son intensité. Cette constatation est en parfait accord avec notre théorie, d'après laquelle *un seul mode de mouvement* disparaît au zéro absolu, la *vibration électronique*.

D'après notre manière de voir, l'élément ultime de la matière est comparable à un système gyrostatique aspirant et foulant, l'aspiration correspondant à la manifestation électrique négative, le refoulement à la manifestation électrique positive. Ces éléments constituent des chaînes en repos ou en mouvement suivant la direction de leur axe. Lorsqu'elles sont en repos, elles donnent

lieu à la manifestation électrostatique; lorsqu'elles sont en mouvement suivant la direction de leur axe, elles donnent lieu aux phénomènes électromagnétiques.

Il résulte de cette considération que les éléments matériels peuvent posséder deux espèces de mouvements : 1° le mouvement de giration de l'ion autour de son axe; 2° le mouvement de translation de celui-ci suivant son axe, *sans qu'apparaisse le phénomène calorifique.* (Le premier mouvement correspondant à l'électricité statique; la combinaison de ces deux mouvements, aux phénomènes électromagnétiques.)

Pour que le phénomène calorifique devienne sensible, *il faut que cette manifestation puisse se transmettre latéralement d'un point à un autre*, soit dans l'espace éthéré sous forme de rayonnement, soit dans un milieu matériel sous forme de conductibilité. Or ce dernier mode de transmission s'exécute par induction électromagnétique, ce qui nécessite l'existence de variations périodiques de l'aspiration et du refoulement des systèmes gyrostatiques. Ce troisième mode de manifestation de l'énergie correspond seul au phénomène calorifique. Ces mêmes oscillations rendent les chaînes ioniques qui constituent les gaz comparables aux corps pulsants de Bjirckness, d'où les mouvements en tous sens que celles-ci éprouvent; la force expansive des gaz; la diffusion ou le déplacement des chaînes inductrices qui facilite la conduction pour la chaleur; la pression interne, c'est-à-dire l'attraction réciproque des divers éléments constitutifs; l'ionisation, c'est-à-dire la rupture des chaînes, produite soit par une raréfaction très grande, soit par d'autres causes.

On voit que le mouvement d'agitation des éléments ne constitue pas le phénomène calorifique en lui-même, mais n'en est qu'une conséquence.

Nous croyons inutile d'insister davantage sur ce que nous avons dit précédemment sur la constitution des liquides et des solides; les premiers fournissent l'image d'anneaux-tourbillons fermés, les seconds de chaînes-tourbillons orientées suivant les directions exigées par la cristallisation.

En résumé, la matière peut renfermer d'*immenses* quantités d'énergie sans que le phénomène calorifique se manifeste d'une manière quelconque. (L'aimant, dont les courants conserveraient vraisemblablement la même intensité au zéro absolu, nous fournit l'exemple le plus frappant.) Mais si la transformation de cette énergie en chaleur se manifeste, nous observerons les phénomènes dont l'explication échappait jusqu'à présent et qui semblaient en contradiction avec le principe de la conservation de l'énergie; tels sont les phénomènes calorifiques présentés par le radium, la transformation de la substance passant de la *forme matière* à la *forme électrique*, ainsi que cela se passe dans les étoiles nouvelles et, vraisemblablement, dans le soleil pour l'entretien de son énergie.

—

Note sur la texture gyrostatique et fibreuse des gaz; par P. De Heen, membre de l'Académie.

Nous avons montré que, très vraisemblablement, les gaz pris sous la pression normale n'étaient pas formés de molécules isolées, mais bien de *chaînes ioniques* animées de mouvements suivant toutes les directions, lesquels détermineraient la pression. Lorsque le vide atteint une certaine limite, les chaînes se brisent et les ions libérés rendent le milieu iodynamique, c'est-à-dire conducteur de l'électricité.

Telle est une des conclusions de notre théorie des phé-

nomènes électriques; mais nous nous sommes demandé s'il ne se produisait pas, dans la nature, des faits confirmant plus directement cette hypothèse.

Remarquons d'abord que cette texture fibreuse semble s'affirmer si l'on répand dans l'air des poussières d'une finesse extrême, par exemple celles qui constituent la fumée de tabac. Ces particules, de dimensions comparables aux éléments que nous considérons, semblent s'aligner suivant l'axe des tourbillons élémentaires qui les sollicitent, de manière à réaliser les longs filaments que les fumeurs sont si habitués à voir flotter dans l'atmosphère.

Telle serait également la raison pour laquelle ces fines particules ne semblent pas soumises à l'action de la pesanteur et continuent à flotter dans l'air.

Si cette hypothèse est exacte, il suffira de briser les chaînes ioniques pour voir cet état d'équilibre disparaître instantanément.

Tel est réellement le résultat obtenu par tous les agents ionisants qui rompent ces chaînes. On sait, en effet, qu'il suffit d'introduire une aigrette électrique dans un milieu renfermant de la fumée ou un brouillard formé de gouttelettes liquides pour déterminer immédiatement la précipitation de ces corpuscules.

Si l'on admet avec van 't Hoff que les solutions peuvent se comparer à des gaz au point de vue de leur constitution, on doit s'attendre à trouver des résultats analogues. Spring a, en effet, montré que si l'on fait passer un courant dans un milieu trouble, la précipitation des éléments ne tarde pas à s'effectuer. On sait que le courant ionise énergiquement les conducteurs qu'il parcourt, au point de leur communiquer de la radioactivité.

—

Dernière réplique à M. Ch. Lagrange; par F. Folie, membre de l'Académie.

C'est bien malgré moi que je me vois obligé à revenir encore une fois sur une question dont les interminables discussions avaient déjà lassé l'Académie il y a près de dix ans.

Je rappellerai qu'à l'origine de la question de la variation des latitudes, j'ai signalé (*) la négligence de la nutation eulérienne comme l'une de ses causes. M. Radau m'a combattu dans le *Bulletin astronomique*. J'ai invoqué le passage de Laplace sur les variations *journalières* de la hauteur du pôle. M. Radau a répondu que ce passage *ne devait pas être pris au pied de la lettre;* M. Tisserand est intervenu, et il a refusé d'insérer ma réplique (**) Or, dans le chapitre final du tome II de sa *Mécanique céleste*, chapitre écrit par M. Radau, la nutation eulérienne est nommée *nutation diurne*, ce qui me donne implicitement raison. M. Lagrange ne veut toujours pas l'admettre. Après tout ce que j'ai trouvé de neuf en astronomie, il va jusqu'à m'imputer une véritable absurdité (***), imputation d'autant plus irréfléchie que depuis plus de douze ans, il le sait, j'oppose l'*invariabilité* de la hauteur du pôle à la *variation* des latitudes ([iv]).

(*) *Comptes rendus*, mai 1890.

(**) *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique* (Classe des sciences), n° 11, p. 984, alinéa 1.

(***) *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique*, 1892.

([iv]) *L'invariabilité de la hauteur du pôle opposée à la variation des latitudes.* (Revue des questions scientifiques, avril 1893.)

Voilà jusqu'où le parti pris peut amener un esprit très judicieux.

Et dans la note qui précède, il persiste encore à prétendre que *journalières* dans Laplace ne signifie pas *diurnes* (pp. 983-984) (*).

J'ai fini par comprendre la raison de cette persistance.

M. Lagrange s'imagine que le pôle, dans Laplace, est le pôle de rotation. C'est faux. Laplace rapporte toutes ses formules au pôle d'inertie *seul*. La hauteur de ce pôle dépend de la déclinaison de l'étoile observée, et cette déclinaison du terme diurne

$$G \cos (nt + \varphi + \beta),$$

donné par M. Lagrange lui-même dans sa formule (12), page 345 (**).

Si donc G était sensible, on le reconnaîtrait aux variations *journalières* de la hauteur du pôle, dit Laplace.

S'il avait entendu confondre le pôle d'inertie et le pôle de rotation, il l'eût dit expressément, comme l'a fait M. Tisserand dans sa *Mécanique céleste*, dont c'est là

(*) Ni même littérairement, dit-il. Je me bornerai à poser à tous mes honorables confrères la question suivante :

Les variations de la hauteur du pôle géographique (si l'on néglige G dans le calcul des déclinaisons) ont une période d'un jour ; celles de la latitude astronomique une période de 305 jours. Lesquelles appellerez-vous journalières ?

(**) Je reconnais m'être trompé en disant que cette formule (12) n'est vraie que dans le méridien. La force de l'habitude m'avait fait lire distraitement, au lieu de $\frac{C}{A}$, $\frac{C-A}{A}$, forme que j'emploie généralement.

l'un des points les plus faibles, puisqu'il connaissait que G n'est pas insensible.

Un seul auteur a rapporté ses formules à l'axe *astronomique*, c'est Oppolzer. Mais voyant qu'il ne lui était pas possible de définir l'heure dans le système de cet axe, il est revenu, pour cette définition, à l'axe d'inertie. En sorte que sa théorie est hétérogène : les coordonnées sont rapportées à l'axe *astronomique*, l'heure à l'axe d'inertie. J'insiste sur ce point, parce qu'un de nos savants confrères, dont je reconnais la compétence, a fait, je pense, un signe de dénégation quand je l'ai affirmé.

Dans les développements de son analyse, rapportés aux axes principaux, Oppolzer dit, page 146 : « La vitesse de rotation de la Terre autour de son *petit* axe est donc constante », et répétant cette phrase, page 198, il ajoute : « on a en conséquence adopté la grandeur de la rotation terrestre comme mesure de temps ». Toutes les formules qu'il développe ensuite sont relatives aux axes principaux. Jamais il n'a confondu, comme Tisserand, l'axe d'inertie et l'axe *astronomique*.

J'ai dit expressément (ici et ci-dessus) l'axe *astronomique*, c'est-à-dire celui auquel les astronomes rapportent leurs formules, et non l'axe *instantané* : l'un n'est pas l'autre, en effet, et mon savant confrère ne veut nullement y prendre garde.

Les formules usitées sont donc incorrectes (*), comme je l'ai déjà dit dans ma précédente réponse à M. Lagrange.

(*) *Trente-cinq années de travaux mathématiques et astronomiques*. (MEM. DELLA PONT. ACCAD. DEI NUOVI LINCEI, t. XX, et MONTHLY NOT., 1903.)

Et ce qui me surprend, c'est que lui, astronome professionnel, n'ait pas vu que le choix de l'axe instantané (vrai) est inadmissible, puisqu'il ne supprime même pas complètement la nutation eulérienne dans les coordonnées, et que, chose autrement grave, il l'introduit dans l'heure.

Si j'avais lu son travail de 1895, je n'eusse pas manqué de faire état de sa formule de l'heure dans le système de l'axe *astronomique* pour constater que j'avais bien raison d'affirmer, dès 1893 (*), qu'une définition correcte de l'heure est impossible dans ce système.

J'ai dit dans ma réponse antérieure que l'heure, déterminée dans ce système, peut différer, au même instant, de $0^s.02$ en deux lieux situés sur le même méridien à des latitudes de $\pm 45^\circ$. Je demande derechef si cette heure est acceptable, et je suis en possession d'une preuve purement physique de l'impossibilité dans laquelle on se trouvera, pendant trente ans encore certainement, de déterminer la nutation eulérienne pour en corriger l'heure, suivant le conseil donné par M. Darwin (**).

J'ai dit aussi que le choix de l'axe *astronomique* conduit à des erreurs qui peuvent s'élever à $0''.02$ sur la latitude. Et je pense que si Oppolzer avait soupçonné cette conséquence de son système, il y eût renoncé quant aux coordonnées, comme il y a renoncé quant à l'heure.

A la page 985, M. Lagrange me reproche de

(*) *L'invariabilité de la hauteur du pôle opposée à la variation des latitudes.* (Revue des questions scientifiques, avril 1893.)

(**) *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique* (Classe des sciences), n° 1, 1903.

commettre une erreur radicale quand je dis que le mouvement de rotation de la Terre ne consiste pas *uniquement* dans le mouvement autour de l'axe instantané, et il déclare qu'il n'existe absolument aucun autre mouvement de la Terre. Or, d'où proviendrait le mouvement de l'axe instantané, si ce n'est d'un mouvement de la Terre elle-même autre que son mouvement autour de cet axe? En m'attribuant une erreur radicale, c'est bien lui qui la commet.

En cinématique, j'ai fait voir, page 340, que la vitesse d'un point de l'équateur terrestre autour de l'axe instantané n'est pas la même qu'autour de l'axe géographique. En mécanique, je me garde bien d'oublier que, dans son mouvement autour du premier axe, chacun des autres points de la Terre développe une force centrifuge dont l'effet est de produire le second mouvement nié par M. Lagrange, et de déplacer l'axe instantané d'un instant au suivant.

Mais à ces spéculations métaphysiques, je préfère les résultats déduits d'un calcul correct.

Que mon honorable contradicteur veuille bien réfuter ceux que j'ai développés dans les *Monthly Notices*, 1903, et qui donnent les expressions des coordonnées dans les trois systèmes d'axes, géographique, astronomique et instantané, ainsi que ceux de la page 340 de la note qu'il attaque si vivement, et desquels il résulte que l'expression de la vitesse d'un point de la Terre autour de l'axe instantané renferme elle-même un terme eulérien (*).

J'ai répondu précédemment d'une manière si péremp-

(*) *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique* (Classe des sciences), p. 340, 1903.

toire aux critiques que m'adressait M. Lagrange dans ce même numéro du *Bulletin* (pp. 363-365), que je juge superflu d'y revenir, après tout ce que je viens de dire, malgré sa réplique.

Et je n'aborderai même plus cette discussion, que je serais tenté de qualifier de byzantine, et dont l'Académie s'est déjà lassée avec raison il y a huit ans, à moins que M. Lagrange ne tente de réfuter, non ce qu'il donne comme ma manière de voir, mais les formules que j'ai exposées l'an dernier dans les *Monthly Notices* et dans le *Bulletin*, page 340.

OUVRAGES PRÉSENTÉS.

—

Mourlon (*Michel*). Résultat du referendum bibliographique. Liége, 1903; extr. in-8° (9 p.).

Guarini (*E.*). L'électricité agricole. Lausanne-Paris, 1903; in-18 (VIII-162 p.).

Selys Longchamps (*Marc de*). Beiträge zur Meeresfauna von Helgoland : Ueber *Phoronis* und *Actinotrocha* bei Helgoland. Oldenbourg, 1903; in-4° (55 p. et 2 pl.).

Schiffers (*F.*). Complications osseuses de l'otite moyenne purulente chronique. Paris, 1903; extr. in-8° (6 p.).

Pâque (*E.*). La fourmi-lion. Namur, 1903; in-8° (16 p.).

Doudou (*E.*). Notice sur la station préhistorique de Flémalle-Haute. Bruxelles, 1903; extr. in-8° (6 p.).

Micheels (*Henri*). De la création d'une station botanique belge aux îles Canaries. Extr. in-8° (3 p.)

Vincent (*J.*). Bulletin climatologique et revue mensuelle du temps, décembre 1903. In-8°.

BRUXELLES. *Quatrième division administrative de la ville.* Rapport annuel : Hygiène, démographie, service de santé, statistique médicale, 1874-1901. 27 brochures in-8°.

État indépendant du Congo. Notices sur des plantes utiles ou intéressantes de la flore du Congo, par Émile De Wildeman, I. 1903; in-8° (221 p. et 12 pl.).

—

ALLEMAGNE ET AUTRICHE-HONGRIE.

BRÜNN. *Naturforschender Verein.* Verhandlungen, Band XLI, 1902; XXI. Bericht der meteorologischen Commission, 1901.

Francfort-sur-le-Main. *Naturforschende Gesellschaft.* Bericht, 1903.

Beckenhaupt (*C.*). Bedürfnisse und Fortschritte des Menschengeschlechtes. Leben, Nahrung, Produktion und Geistenkultur in ihren Grundlagen und Zielen, im Rahmen der Weltentwicklung. Heidelberg, 1904; in-8° (xii-286 p.).

—

France.

Gaudry (*Albert*). Discours à la séance publique de l'Académie des sciences de Paris, le 21 décembre 1903. Paris, 1903; in-4° (15 p.).

Couturat (*L.*) et *Leau* (*L.*). Histoire de la langue universelle. Paris, 1903; in-8° (xxx-576 p.).

Angers. *Société industrielle et agricole.* Bulletin, 73e année, 1902.

Bordeaux. *Académie des sciences, belles-lettres et arts.* Actes, 1901.

Dunkerque. *Société des sciences, des lettres et des arts.* Mémoires, 1903, 37e volume.

Lyon. *Société d'agriculture, sciences et industrie.* Annales, tomes IX et X, 1901-1902.

— *Société linnéenne.* Annales, tome XLIX, 1903.

— *Académie des sciences, belles-lettres et arts.* Mémoires, tome VII, 1903.

Sèvres. *Comité international des poids et mesures.* Procès-verbaux des séances, 1903.

Hendaye. *Observatoire d'Abbadia.* Observations faites au cercle méridien en 1901. Paris, 1903; in-4°.

Paris. *École polytechnique.* Journal, 1903.

— *Académie des sciences.* Conférence astro-photographique internationale de juillet 1900 : circulaire n° 10. 1903; in-4°.

Paris *Académie des sciences.*

— Œuvres d'Augustin Cauchy, 2e série, tome V, 1903; in-4°.

— *Ministère de l'Instruction publique.* Carte photographique du Ciel. Zone — 1 : feuilles 114, 117, 118; zone + 1 : feuilles 98, 102, 103; zone + 3 : feuilles 85, 117; zone + 20 : feuilles 11, 28, 29, 67, 79, 80, 83; zone + 24 : feuilles 26, 29, 31, 39, 46, 50, 51, 68.

— *Observatoire.* Atlas photographique de la Lune, 7e fascicule, texte et planches. 1903.

Reims. *Académie.* Travaux, volumes 110 à 112. 1902-1903.

Toulouse. *Université.* Annales de la Faculté des sciences, tome V, 1903; in-4°.

—

Londres. *Royal Society.* Report to the Government of Ceylon on the pearl oyster fisheries of the Gulf of Manaar, by W. A. Herdman. 1903; in-4°.

—

Mogni (*Antonio*). Nuova teorica della legge d'oscillazione del pendolo,avuto riguardo alla rotazione della Terra. Jesi, 1903; in-8° (29 p.).

Stiattesi (*Raff.*). Spoglio delle osservazioni sismiche, 1902-1903. Mugello, 1903; in-8° (xii-84 p.).

—

Nimègue. *Nederlandsche botanische Vereeniging.* Prodromus florae Batavae, volume I, pars 2. 1902; in-8°.

Middelbourg. *Genootschap der Wetenschappen.* Archief, 1902 en 1903. Zelandia, 3de vervolg.

TRECHT. *Genootschap van kunsten en wetenschappen.* Aanteekeningen, Verslag 1903.

Kops, Van Eeden, Vuyck. Flora Batava, aflevering 341-344. Harlem, 1903; 4 cahiers in-4°.

—

GENÈVE. *L'Enseignement mathématique.* 1re à 5e années, 1899-1903.

COPENHAGUE. *Conseil permanent international pour l'exploration de la mer.* Publication de circonstance, n° 6 : On a new form of trawl net, designed to fish in midwater as well as on the ground, Preliminary notice (Harry M. Kilé) 1903. N° 7 : Ueber das Vorkommen von *Oithona nana* Giesbr. in der Nordsee (P.-J. Van Breemen). 1903.

ACADÉMIE ROYALE DE BELGIQUE

BULLETIN

DE LA

CLASSE DES SCIENCES

1904. — N° 2.

CLASSE DES SCIENCES.

Séance du 6 février 1904.

M. Léon Fredericq, directeur.

M. le chevalier Edmond Marchal, secrétaire perpétuel.

Sont présents : MM. P. De Heen, *vice-directeur;* G. Dewalque, Éd. Van Beneden, C. Malaise, F. Folie, Jos. De Tilly, Ch. Van Bambeke, Alfr. Gilkinet, G. Van der Mensbrugghe, W. Spring, Louis Henry, M. Mourlon, C. Le Paige, Ch. Lagrange, J. Deruyts, J. Neuberg, A. Lancaster, L. Errera, Julien Fraipont, A. Jorissen, P. Francotte, P. Pelseneer, *membres;* J. Massau et Aug. Lameere, *correspondants.*

CORRESPONDANCE.

M. le Secrétaire perpétuel donne lecture d'une lettre de l'Académie royale des sciences de Bavière annonçant la mort de l'un de ses membres, le Dr Charles-Alfred chevalier von Zittel, conseiller d'État, professeur et conservateur des collections paléontologiques et géologiques, décédé accidentellement à Munich, le 5 janvier dernier.

M. le Directeur adresse à la mémoire de l'éminent associé de la Classe l'hommage qui lui est dû, et rappelle en même temps que le chevalier von Zittel est l'auteur d'un grand traité de paléontologie devenu classique depuis longtemps. La Classe, ajoute-t-il, ressentira vivement la perte de M. von Zittel, qui jouissait d'une juste renommée.

M. le Secrétaire perpétuel annonce ensuite la mort du révérend docteur George Salmon, président du Collège de la Trinité, à Dublin, décédé en cette ville, le 22 janvier, à l'âge de 84 ans.

M. Salmon, comme le fait remarquer M. le Directeur, appartenait aussi à la Classe des sciences, en qualité d'associé de la Section des sciences mathématiques. Il jouissait d'une haute réputation dans le monde scientifique européen.

M. le Secrétaire perpétuel est chargé d'écrire à l'Académie royale de Munich et au Collège de la Trinité à Dublin pour exprimer, au nom de l'Académie royale de Belgique, combien celle-ci a été sensible à ces pertes.

— MM. Segre, Michel Lévy et W. Roux remercient pour leur diplôme d'associé.

— M. le Ministre de l'Intérieur envoie, pour la bibliothèque de l'Académie, un exemplaire des recueils suivants :

Flora Batava, afbeelding en beschrijving van Nederlandsche gewassen, afleveringen 341-344 ;

Archives de biologie, tome XX, fascicules 1-2. — Remerciements.

— M. le Ministre de l'Intérieur envoie le programme pour le prix international de 6,000 francs fondé par feu le docteur Maurice Bufalini, de Florence. Selon le fondateur, ce prix a pour objet la philosophie dite, d'après lui, « expérimentale ».

— La Commission de la *Belgica* fait savoir que, par arrêté royal du 21 août dernier, M. Éd. Van Beneden a été nommé président en remplacement de M. le lieutenant général Brialmont, décédé.

La Commission adresse, comme suite à son premier envoi, daté du mois de mai 1902, neuf nouveaux *Rapports scientifiques* sur les résultats du voyage de 1897-1899. Les titres de ces travaux figurent au *Bulletin* parmi les ouvrages présentés à la séance.

— M. le Secrétaire perpétuel présente l'*Annuaire* de l'Académie pour 1904. Ce volume renferme une notice sur l'Académie depuis 1772 à nos jours, notice qu'il a écrite, dit-il, pour accompagner les publications qui figureront à l'Exposition universelle de Saint-Louis (États-Unis d'Amérique).

— M. Ch. Lagrange envoie par la poste, sous la date du 16 janvier, pour être déposé dans les archives, un sixième billet cacheté (suite au billet du 4 janvier sur une rotation indéfectible due à la pesanteur). — Accepté.

Une demande semblable est faite par M. le professeur M. Stuyvaert, de l'athénée royal de Gand, pour un billet cacheté contenant « l'énoncé des résultats qu'il a obtenus jusqu'à ce jour en étudiant les courbes gauches représentées par des déterminants rectangulaires ». — Accepté.

— L'Académie d'Arras annonce la réunion en cette ville, du 7 au 10 juillet prochain, d'un Congrès des sociétés savantes du nord de la France et de la Belgique.

— Le premier Congrès français de climatothérapie et d'hygiène urbaine annonce qu'il tiendra ses réunions à Nice, du 4 au 9 avril, sous la présidence de M. le professeur Chantemesse (de Paris), membre de l'Académie de médecine.

— Le président de l'Université de l'État de Wisconsin invite l'Académie royale de Belgique à se faire représenter au jubilé du 50e anniversaire de fondation de cette Université.

La solennité aura lieu à Madison, au commencement du mois de juin 1904.

— Le *Cartell* allemand, formé par l'association limitée des Académies de Göttingen, Leipzig, Munich et Vienne, envoie dix exemplaires de la proposition qu'il a faite à l'Association internationale des Académies au sujet de la *création de stations pour observer l'électricité atmosphérique.*

Cette communication comporte l'exposé des motifs et un programme provisoire.

— Hommages d'ouvrages :

1° *Édouard Martens, professeur de botanique de l'Université catholique de Louvain. Notice biographique;* par Louis Henry;

2° *Notice sur Charles-Louis-Joseph-Xavier de la Vallée Poussin;* par le professeur C. Malaise;

3° *Annuaire astronomique de l'Observatoire royal de Belgique*, 1905; par G. Lecointe.

— Remerciements.

— Les travaux manuscrits suivants sont renvoyés à l'examen de commissaires :

1° *Recherches sur le développement embryonnaire de l'appendice du premier segment abdominal chez* Tenebrio Molitor; par Maurice de Selys Longchamps. — Commissaires : MM. Lameere et Van Beneden;

2° *Recherches sur la substitution métallique* (2e communication); par A.-J.-J. Vandevelde et C.-F. Wasteels. — Commissaires : MM. Spring et De Heen;

3° *Baromètres à flotteurs* (nos I et II); par P. Basiaux, à Chimay. — Commissaire : M. Lancaster;

4° *Géométrie euclidienne. Livre Ier : Théorie des parallèles;* par Charles Michaux, à Alma (Canada). — Commissaires : MM. Neuberg et Mansion.

— M. le professeur Cl. Servais sera remis en possession de son travail sur les faisceaux de quadriques, adopté pour l'impression dans la séance du 5 décembre 1903, et qu'il désire compléter, dit-il, sur un ou deux points.

— M. Augustin Mont, à Tehuacan Puebla, Mexico, adresse une note intitulée : *Duplicacion del cubo.*

M. Inocensio Andion, F., à San José de Costa-Rica (Amérique centrale), envoie une lettre relative à la quadrature du cercle.

— Dépôt de ces deux notes dans les archives.

NOTES BIBLIOGRAPHIQUES.

J'ai l'honneur de présenter, comme hommage à l'Académie, de la part de MM. L. Couturat et L. Leau, leur livre intitulé : « Histoire de la langue universelle », c'est-à-dire : Histoire des diverses tentatives qui ont été faites pour constituer une telle langue.

Je me permets d'appeler toute l'attention de mes honorables confrères sur ce travail remarquable, et de les engager à en lire tout au moins la Préface, l'Introduction et la Conclusion, s'ils ne peuvent se livrer à l'étude de l'ouvrage tout entier, qui comprend 600 pages.

Dans la présente note, je me bornerai à donner de ce livre une analyse très sommaire, dont presque tous les éléments sont d'ailleurs empruntés aux auteurs eux-mêmes.

Toutes les raisons invoquées à l'appui de la création de l'Association internationale des Académies militent également en faveur de l'adoption d'une langue internationale, qui ne viendrait pas remplacer les idiomes particuliers des divers peuples, mais constituerait, pour chacun d'eux, une seconde langue, au moyen de laquelle il se ferait comprendre des étrangers.

Les savants regrettent quelquefois le temps où le latin était la langue scientifique unique, et ils sont ainsi amenés à rêver la résurrection du latin comme langue

---

L'hommage de cet ouvrage figure page 9 du *Bulletin* de la séance du 9 janvier dernier.

Note du Secrétaire perpétuel.

internationale. C'est là une solution possible, que personne n'exclut jusqu'à présent. Mais on conçoit aussi qu'on puisse construire pour cet usage une langue artificielle, plus ou moins analogue à nos langues « naturelles » et qui soit même plus parfaite, plus régulière et plus facile à apprendre qu'aucune d'elles, et notamment que le latin.

Ceux à qui cette idée d'une langue construite de toutes pièces paraît chimérique sont simplement mal informés, et la lecture du livre de MM. Couturat et Leau suffira à les détromper.

Ils verront même dans ce livre qu'il existe un grand nombre de langues internationales en projet. Mais il importe qu'on en choisisse une seule, sans quoi au lieu de détruire la tour de Babel, on en aurait élevé une autre. Il faut donc qu'un arbitrage désigne la langue la plus avantageuse, et il vaut mieux provoquer cet arbitrage tout de suite, avant qu'un grand nombre de personnes se soient engagées pratiquement dans des voies qui peuvent être sans issue.

D'ailleurs un nombre encore plus grand d'intéressés attendent, pour se rallier à une langue internationale, qu'elle puisse leur servir, c'est-à-dire qu'elle soit universellement adoptée. Or elle ne serait jamais universellement adoptée si tout le monde faisait le même raisonnement et gardait la même réserve. Il faut donc qu'une autorité décide. A cet effet il s'est formé (17 janvier 1901) une Délégation internationale, dont les premiers membres ont été nommés par des congrès internationaux et par des sociétés savantes, et qui comprend aujourd'hui les délégués de cent soixante et onze sociétés, de nature

diverse. Cette Délégation nommera un Comité, composé des personnes les plus compétentes en matière de langues et de philologie et pouvant être réunies pendant un certain laps de temps.

Le choix de la langue auxiliaire appartiendra d'abord à l'Association internationale des Académies, laquelle sera saisie de la question par l'intermédiaire du Comité. En cas d'insuccès, le Comité lui-même statuera.

On peut admettre avec confiance que tous les partisans d'une langue internationale se soumettront à la décision de l'Association ou du Comité et adopteront la langue officiellement choisie. Le Comité veillera aussi à la conservation et au développement régulier de la langue, suivant les principes mêmes qui auront présidé à sa création.

MM. Couturat et Leau ont analysé dans leur ouvrage cinquante-cinq projets de langue internationale. Ils ne se sont pas bornés à les analyser : ils ont présenté une critique de chacun de ces projets. Mais ces critiques sont indépendantes du reste de l'ouvrage et ne sont nullement destinées à influer sur le choix qui devra être fait entre les systèmes. Les auteurs déclarent formellement que leur travail est tout personnel et n'engage à aucun degré la Délégation, dont ils font partie, le premier comme trésorier et le second comme secrétaire général.

Le mouvement en faveur d'une langue auxiliaire internationale est aujourd'hui si bien organisé et dirigé que rien ne pourra plus l'arrêter ni le faire dévier du but. La langue internationale se fera; mais elle peut se faire avec l'appui des Académies ou sans cet appui. Il est évidemment désirable, dans l'intérêt de la science et des Académies elles-mêmes, qu'elles prennent à cette création la

part qui leur revient. Leur honneur y est en quelque sorte engagé.

Heureusement, tout porte à croire que les Académies appuieront. Déjà celle de Vienne a chargé l'illustre philologue Schuchardt « de suivre le mouvement relatif à la création d'une langue auxiliaire internationale et de lui en rendre compte ». L'Académie des sciences d'Amsterdam est également favorable au projet. Pour l'Académie des sciences de Paris, la Délégation possède l'assentiment écrit du tiers des membres.

J'espère que l'Académie de Bruxelles tiendra à figurer parmi les *dix* Académies dont l'approbation, au moins officieuse, est nécessaire pour que la question puisse être portée utilement devant l'Association internationale.

JOSEPH DE TILLY.

M. Mourlon déclare appuyer les considérations de M. De Tilly au sujet de l'utilité d'une langue scientifique internationale.

—

M. De Tilly, comme suite à cette lecture, a présenté la motion suivante dans la séance actuelle du 6 février :

« L'Académie royale de Belgique (Classe des sciences), approuvant le programme de la *Délégation* pour l'adoption d'une langue auxiliaire internationale, autorise son délégué à l'Association internationale des Académies à voter en faveur du principe de cette langue auxiliaire, si la question était mise aux voix; et aussi à proposer la mise à l'ordre du jour de cette question, s'il jugeait les circonstances favorables. »

Cette proposition n'est pas admise.

La Classe adopte ensuite, à l'unanimité, la proposition suivante de M. Errera :

« La Classe des sciences émet le vœu de voir une langue universellement adoptée, sans exclure les langues mortes ou vivantes. »

RAPPORTS.

—

Sur l'avis de M. De Heen, le *Bulletin* renfermera une communication de M. G. Cesàro, portant pour titre : *Sur un caractère spécifique des minéraux opaques.*

—

Sur la série de Lagrange et ses applications; par F. Gomes Teixeira.

Rapport de M. C.-J. de la Vallée Poussin, premier commissaire.

« M. Gomes Teixeira s'est déjà occupé à plusieurs reprises et avec succès de la formule de Lagrange.

Rappelons brièvement l'objet de cette formule.

Si l'on considère une fonction implicite z de t, définie par la formule

$$(1) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad z = t + x\mathrm{F}(z),$$

où

$$(2) \quad . \quad . \quad \mathrm{F}(z) = \varphi_1(z) + x\varphi_2(z) + \cdots + x^{k-1}\varphi_k(z),$$

la formule de Lagrange conduit au développement d'une fonction $f(z)$ de z, sous la forme

$$(3) \quad . \quad . \quad . \; f(z) = f(t) + \sum_{1}^{\infty} \frac{x^n}{n!} \frac{d^{n-1}}{dt^{n-1}} [f'(t) F(t)^n].$$

Les conditions sous lesquelles on peut appliquer cette formule ont été mises par Cauchy sous une forme devenue classique.

Marquons le point t dans le plan de la variable z et décrivons un contour K autour de ce point. Si le contour K entoure une aire A dans laquelle $F(z)$ et $f(z)$ sont synectiques et si l'on a constamment

$$(4) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \left| \frac{xF(z)}{z-t} \right| < 1,$$

quand z décrit le contour, celui-ci ne contient qu'une seule racine z de l'équation (1) et la série (3) fournit la valeur correspondante de $f(z)$.

Cette conclusion subsiste quand on fait varier x dans une aire B; mais on suppose alors que $F(z)$ est une fonction synectique de z et de x dans le domaine formé des aires A et B.

Si, de plus, l'inégalité (4) a lieu, *égalité exclue*, la série (3) converge uniformément, et comme ses termes sont synectiques, elle a pour somme une fonction synectique de x dans l'aire B. Donc, par un théorème connu, elle est développable en série ordonnée suivant les puissances positives de x dans l'aire B.

Cette remarque intéressante a été faite par M. Teixeira lui-même dans un mémoire antérieur paru dans le

Journal de Liouville. En ordonnant la série (3), il trouve facilement comme résultat

$$(5) \quad . \quad f(z) = f(t) + \sum_{n=1}^{\infty} x_n \sum{}' \frac{d^{\rho-1}}{dt^{\rho-1}} \left[f'(t) \frac{\varphi_1^{\alpha} \varphi_2^{\beta} \dots \varphi_k^{\lambda}}{\alpha!\, \beta! \dots \lambda!} \right]$$

où la somme accentuée s'étend à tous les systèmes de solutions positives ou nulles de l'équation

$$\alpha + 2\beta + 3\gamma + \dots + k\lambda = n$$

avec la condition

$$\rho = \alpha + \beta + \dots + \lambda.$$

L'auteur se propose d'étudier la condition (4) dans le cas où le contour K est un cercle de rayon R décrit autour du point t comme centre, de manière à en faire la preuve que la formule (5) est applicable. Cette étude directe peut être un procédé très ardu pour obtenir le cercle entier de convergence de la série (5), de sorte qu'il faudra se contenter d'un rayon de convergence inférieur au maximum. Cette connaissance, dit M. Teixeira, sera suffisante dans beaucoup de cas.

A notre avis, cette connaissance suffira même presque toujours, car le cercle de convergence d'une série potentielle est généralement connu d'avance : c'est le plus grand cercle dans lequel la fonction représentée est synectique.

Quoi qu'il en soit, ces préliminaires nous amènent au n° 6 du mémoire, où l'auteur aborde l'objet essentiel de son travail.

M. David a montré dans un mémoire important publié dans le *Journal de l'École polytechnique de Paris* (1887)

que la formule de Lagrange peut donner, moyennant certaines conditions, le développement d'une fonction $f(y)$ d'une racine y de l'équation algébrique

$$F(x, y) = 0,$$

racine définie par sa valeur y_1 au point x_1.

Le travail que M. Teixeira vient de présenter à l'Académie a pour but de simplifier l'analyse dont nous venons de parler et ensuite de l'étendre à certains cas où plusieurs racines de l'équation $F(x, y) = 0$ deviennent égales au point x_1.

Considérons d'abord, avec M. Teixeira, le cas d'une racine simple. Supposons que le système de valeurs $x = y = 0$ satisfasse à l'équation

$$(7) \quad \ldots\ldots\ldots \quad F(x, y) = 0$$

et proposons-nous de développer la branche y de cette fonction qui s'annule pour $x = 0$, cette branche étant supposée uniforme en ce point.

L'équation (7) ordonnée par rapport à x peut s'écrire :

$$y\psi_0(y) - x\psi_1(y) - x^2\psi_2(y) - \cdots = 0,$$

les ψ désignant des polynômes dont le premier n'est pas nul par hypothèse au point $y = 0$. On en tire

$$y = \frac{x\psi_1(y) + x^2\psi_2(y) + \cdots}{\psi_0(y)}.$$

Sans passer par tous les calculs de M. Teixeira, on peut s'assurer que la condition (4) sera vérifiée quand y variera sur une circonférence de rayon ρ et x dans un

cercle de rayon r_1 convenablement choisis. En effet, comme $t = 0$ et $z = y$, la condition (4) devient

$$\left|\frac{F(y)}{y}\right| = \left|\frac{x\psi_1(y) + x^2\psi_2(y) + \cdots}{\psi_0(y)}\right| < 1.$$

Comme ψ_0 (0) est différent de 0, on peut d'abord prendre ρ suffisamment petit pour que ψ_0 (y) ne s'annule pas dans le cercle de rayon ρ ni sur la circonférence; ensuite, ayant borné ainsi y, le numérateur de la fraction tend vers 0 avec x, et on peut évidemment vérifier l'inégalité pour $|x| < r_1$, si r_1 est assez petit.

Ces conditions suffisent à elles seules pour prouver que la série (5), où l'on fera $z = y$ et $t = 0$, donne le développement de la racine considérée y. Les inégalités établies assez longuement par M. Teixeira font connaître un cercle dans lequel la série (5) sera convergente, mais nous ne sommes pas sûr que cette connaissance soit aussi utile que M. Teixeira semble le dire. En effet, le cercle entier de convergence sera généralement plus facile encore à obtenir par la recherche directe du cercle dans lequel la fonction représentée est synectique.

Continuons l'examen du mémoire et passons aux cas non envisagés par M. David.

L'auteur considère successivement deux cas dans lesquels $y = 0$ est une racine multiple de l'équation $F(0, y) = 0$.

Ces deux cas sont ceux où la séparation des racines en systèmes circulaires est immédiate. On sait que les racines appartenant à un même système circulaire sont développables en une même série de puissances fractionnaires. Ce sont ces développements que fournit la for-

mule de Lagrange, par l'emploi d'un artifice qui revient au fond à celui dont on se sert pour la séparation des racines.

Nous croyons inutile d'entrer dans l'analyse détaillée du procédé suivi par l'auteur. Nous pensons qu'il aurait pu simplifier son exposition, mais les résultats ont été trouvés très exacts.

Dans la voie où il est entré, nous ne voyons pas ce qui empêche M. Teixeira d'étendre sa méthode au cas où la séparation des racines de l'équation est moins immédiate. Il nous paraît probable qu'une fois la séparation faite, et elle peut toujours se faire, la formule de Lagrange donnera le développement en série de puissances fractionnaires des racines appartenant à un même cycle, comme dans les cas les plus simples.

Le mémoire se termine par quelques applications des formules précédentes. On y trouve les développements de certaines fonctions en séries où l'on voit apparaître les polynômes de Legendre et d'autres polynômes analogues.

Nous avons l'honneur de proposer à la Classe l'impression du travail de M. Teixeira. »

Les autres commissaires, MM. Mansion et J. Deruyts, déclarent se rallier à cette proposition, qui est adoptée par la Classe.

En conséquence, le mémoire de M. Teixeira sera imprimé dans le *Recueil in-4° des mémoires*.

—

Sur les modifications subies par les solutions de soude injectées dans le torrent circulatoire et la cause de l'apnée; par le Dr Ant. Hougardy.

Rapport de M. Masius, premier commissaire.

« M. Hougardy, dans la première partie de son mémoire, relate différentes séries d'expériences qu'il a faites sur des lapins et sur des chiens, pour déterminer ce que devient la soude introduite dans l'organisme par injection intravasculaire. Il montre que l'alcali injecté ne se retrouve pas dans le sang en quantité notable; il se fixe sur les globules rouges du sang et sur les éléments figurés des tissus selon toute probabilité; alors que l'alcalinité du sang, dans son ensemble, diminue, celle des globules et du sérum pris isolément augmente, au contraire, sous l'influence de l'injection.

Il résulte aussi des recherches de l'auteur que la soude est éliminée par les urines avec une certaine lenteur, sous forme de carbonate et de bicarbonate, l'alcali injecté étant, presque en totalité, neutralisé par l'acide carbonique au contact des tissus dont les actes chimiques sont une source continue et abondante de cet acide.

Dans la deuxième partie de son travail, M. Hougardy explique, en se basant sur des expériences nombreuses et variées, pourquoi notre savant collègue Léon Fredericq n'est pas parvenu à produire l'apnée par ses injections intravasculaires de solutions de soude, dont l'affinité pour l'anhydride carbonique est si considérable, et dont

la combinaison doit amener une diminution de tension de ce gaz dans le sang et provoquer l'apnée par suite de la suppression de l'excitant normal du centre respiratoire. Il établit que les injections intravasculaires de soude, pour amener la suspension de la respiration, doivent être faites avec une vitesse suffisante, mais à une distance assez grande du cœur; faites trop lentement, elles ne provoquent aucune modification de la respiration ni de la circulation, parce que la quantité d'alcali introduite n'est pas assez considérable pour neutraliser la plus grande partie de l'anhydride carbonique formé par l'organisme; faites avec trop de vitesse, elles produisent de la dyspnée avec hausse de la pression sanguine générale, parce qu'une certaine quantité d'alcali arrive, sans être modifiée, au centre bulbaire, l'excite et amène des troubles respiratoires et circulatoires.

Quand les injections sont pratiquées trop près du cœur, elles irritent l'endocarde et occasionnent la mort de l'animal.

M. Hougardy démontre aussi que l'apnée produite par l'injection intravasculaire de soude ne peut être attribuée à aucune autre influence qu'à la diminution de tension de l'anhydride carbonique.

J'ai l'honneur de proposer à la Classe l'impression, dans le *Bulletin* de la séance, de l'important mémoire de M. Hougardy et des figures annexées au travail. »

Ces conclusions, auxquelles déclare se rallier M. Fredericq, second commissaire, sont adoptées par la Classe.

—

Deuxième note au sujet de la respiration périodique et des courbes vaso-motrices chez le chien propeptoné; par P. Nolf.

Rapport de M. Masius, premier commissaire.

« Dans un travail antérieur, paru dans le *Bulletin* de la Classe, M. Nolf a étudié, chez des chiens propeptonés, un phénomène très net relatif à une respiration périodique accompagnée de courbes vaso-motrices d'une longueur égale à celle des périodes respiratoires.

L'auteur supposait que ce phénomène était le résultat de l'action de la propeptone sur les centres bulbaires.

De nouvelles observations faites par M. Nolf démontrent que la périodicité simultanée de la respiration et de la pression artérielle chez le chien propeptoné n'est pas provoquée par la propeptone; on constate cette particularité chez des animaux qui n'ont reçu aucune drogue.

Il semble que le phénomène primitif soit la périodicité respiratoire, qui apparaît lorsque l'animal est soumis à des excitations sensorielles ou douloureuses répétées.

Chez l'animal normal, cette respiration périodique est convulsive et a une répercussion sur la circulation, qui montre des ondulations de nature très complexe. D'après l'auteur de cette note, l'intoxication propeptonée n'a pas d'autre effet que de régulariser le syndrome vaso-respiratoire; la respiration se calme en conservant son rythme périodique, et des différents facteurs qui, chez l'animal normal, influencent la pression artérielle, il n'en persiste qu'un seul : l'action du centre vaso-moteur. Les courbes de troisième ordre chez le chien propeptoné paraissent donc de nature vaso-motrice pure ou presque

pure. A chaque période d'inspirations croissantes correspond une augmentation de tonus vasculaire.

Cette étude de M. Nolf de la respiration périodique et des courbes vaso-motrices, étude basée sur toute une série d'observations faites au cours de nouvelles expériences sur le chien propeptonisé, éluciderait le mode de production, le mécanisme de ce double phénomène vaso-respiratoire.

J'ai l'honneur de proposer à la Classe l'insertion dans le *Bulletin* de la séance de cette intéressante note et des figures qui l'accompagnent. »

M. Fredericq, deuxième commissaire, déclare se rallier à ces conclusions, qui sont adoptées par la Classe.

—

De l'absorption intestinale de la propeptone chez le chien (2e partie); par P. Nolf.

Rapport de M. Masius, premier commissaire.

« Dans la deuxième partie de son travail, M. Nolf étudie, avec les méthodes employées pour la propeptone, les phénomènes consécutifs à l'introduction, dans l'intestin et dans la circulation, d'un liquide de digestion pancréatique prolongée, qui ne donne plus la réaction du biuret et ne contient plus ni propeptones ni peptones.

Les expériences que l'auteur a instituées montrent que les produits ultimes de la digestion trypsique administrés aux mêmes doses et dans le même temps que la propeptone exercent sur la muqueuse intestinale une action irritante plus forte, caractérisée par de la diarrhée. Dans les expériences non compliquées par ce facteur, on

observe une chute de la pression artérielle légère, qui se produit tardivement. Elle semble être de même nature que celle qui est produite par la résorption intestinale de la propeptone neutre.

L'absorption de quantités même considérables des substances cristalloïdes semble dépourvue d'action spécifique sur la durée de coagulation du sang. Elle ne produit aucune immunité propeptonique.

Dans une autre série d'expériences, M. Nolf introduit à des chiens des produits pancréatiques par des injections intraveineuses rapides ou lentes. Pendant les injections lentes, la vitesse d'écoulement dans les veines fut réglée de façon à correspondre à la rapidité d'absorption des mêmes liquides introduits dans l'intestin.

Les effets de ces deux modes d'administration sont complètement différents. Les doses dont la résorption intestinale n'est suivie d'aucun effet bien sensible produisent en injection intraveineuse lente une chute profonde de la pression artérielle et l'incoagulabilité du sang.

La chute de la pression artérielle est due à la paralysie de la paroi des vaisseaux (paralysie analogue à celle que produit la propeptone). L'incoagulabilité du sang est le résultat d'une action directe des substances pancréatiques sur les éléments qui interviennent normalement dans le phénomène de la coagulation (incoagulabilité différente de celle que produit la propeptone en injection intraveineuse rapide).

Il n'existe pas d'immunité à l'action des produits pancréatiques sur la coagulation du sang. Leur administration intraveineuse ne produit pas d'immunité propeptonique bien nette.

Passant à la discussion de ces données expérimentales,

M. Nolf compare la résorption intestinale de la propeptone en milieu neutre ou alcalin et acide avec la résorption intestinale des produits ultimes de la digestion pancréatique.

L'auteur conclut de cette comparaison que, contrairement à l'opinion émise récemment par différents auteurs, l'épithélium intestinal absorbe avidement la propeptone, plus rapidement, semble-t-il, que les produits pancréatiques.

Quand l'absorption de la propeptone est massive et se fait en milieu neutre ou alcalin, une faible partie du produit passe dans le sang, la très grande masse restant fixée dans la muqueuse de l'intestin.

Lorsque l'absorption se fait en milieu acide, on ne constate pas les signes caractéristiques de la pénétration de la propeptone dans le sang.

Les produits ultimes de la digestion pancréatique sont également absorbés en grande abondance par l'épithélium de l'intestin et retenus par lui. C'est ce qui résulte de la confrontation des résultats expérimentaux de l'absorption intestinale et de l'infusion lente de ces produits.

En résumé, les recherches de M. Nolf fournissent, au moyen d'un matériel expérimental neuf, la confirmation de l'opinion classique, fortement battue en brèche dans ces dernières années, d'après laquelle l'épithélium de l'intestin constitue une barrière opposée à la pénétration dans le sang des substances plus ou moins complexes (propeptones, peptones et dérivés) qui résultent de l'action des sucs digestifs sur les albuminoïdes de l'alimentation.

Nous avons donné une analyse aussi complète que

possible de l'important travail de M. Nolf. Elle suffit, nous semble-t-il, pour montrer tout l'intérêt des questions traitées dans ce mémoire, dont nous avons l'honneur de proposer à la Classe l'impression dans le *Bulletin* de la séance. »

M. Fredericq, second commissaire, déclare se rallier à ces conclusions, qui sont adoptées par la Classe.

COMMUNICATIONS ET LECTURES.

L'ARGUMENT DU MILLIONNAIRE *et l'infiniment petit absolu* (*Réponse à des objections et Remarque sur une déclaration de M. Mansion*) (1); par Ch. Lagrange, membre de l'Académie.

1. J'ai répondu dans notre dernière séance à une objection concernant l'infiniment petit absolu et le nombre des racines d'une équation. J'ai pris acte d'un nou-

---

(1) Bibliographie :

1. *Étude du système des forces* (Appendice). (MÉM. DE L'ACAD. ROY. DE BELGIQUE, 1892, t. XLVIII.)

2. *Étude du principe de la limite.* (BULL. DE L'ACAD. ROY. DE BELGIQUE (Classe des sciences), nos 9-10, 1901.)

3. *Sur l'infiniment petit absolu,* dans la revue « L'Enseignement mathématique », mai 1902.

4. (*Réclamation de priorité...*). *Note sur l'infiniment petit absolu.* (BULL. DE L'ACAD. ROY. DE BELGIQUE (Classe des sciences), 1903, no 3.)

5. *Newton et le principe de la limite.* (BULL. DE L'ACAD. ROY. DE BELGIQUE (Classe des sciences), 1903, no 7.)

6. *La question de la tangente.* (BULL. DE L'ACAD. ROY. DE BELGIQUE (Classe des sciences), 1903, no 12.)

7. *Réponse à une objection d'un de mes confrères concernant l'infini-*

veau refus de réponse, accompagné cependant, en séance, de nouvelles objections.

Comme je tiens à honneur de ne pas me dérober aux critiques de mes adversaires, c'est moi qui vais faire connaître ces objections et, ne pouvant faire parler leurs auteurs, contraindre ces données essentiellement impersonnelles à s'expliquer publiquement.

2. Les objections dont il s'agit portent sur trois points, savoir :

1° La prétendue absurdité de la notion d'infiniment petit absolu ;

2° L'affirmation que Newton n'a pas eu cette notion, contrairement à ce que j'ai établi dans mon travail *Newton et le principe de la limite;*

3° Un argument de sens commun, signalé en titre de cette note.

3. *Absurdité de la notion d'infiniment petit absolu.* M. Lagrange, a-t-on dit très justement, prétend qu'en partant du zéro et considérant une grandeur croissante, il existe un *premier état* de cette grandeur. C'est ce premier état qu'il appelle l'*infiniment petit absolu.* Or, cette idée est *absurde*, attendu que la grandeur supposée n'aurait pas de moitié et qu'il n'existe que des grandeurs divisibles.

---

ment petit absolu. (BULL. DE L'ACAD. ROY. DE BELGIQUE (Classe des sciences), 1904, n° 1.)

8. *Sur une démonstration du Postulatum d'Euclide* (*la Métagéométrie et l'Infiniment petit absolu*) (BULL. DE L'ACAD. ROY. DE BELGIQUE [Classe des sciences], 1904, n° 1.)

Je commencerai par remarquer que cette notion du premier état est tellement une notion de sens commun, c'est-à-dire tellement une notion d'enseignement, que la critique se garde bien de l'aborder de face, et qu'elle ne l'attaque que d'une manière détournée, dans une de ses conséquences nécessaires.

Je remarquerai ensuite, à l'égard de cette conséquence nécessaire de l'indivisibilité, signalée par elle, qu'on aurait droit de s'étonner d'entendre des mathématiciens formuler ici une dénonciation d'*absurdité mathématique,* alors qu'ils admettent bien qu'il existe des grandeurs n'ayant pas de racine carrée; car ils auraient, avec la même raison, pu formuler l'avis suivant : M. Lagrange obtient le nombre 2 par l'addition de 1 à 1; or cette idée de 2 est absurde, attendu que 2 n'a pas de racine carrée.

Ma partie adverse fait donc tout d'abord une pétition de principe, en posant : *il n'existe que des grandeurs divisibles*, c'est-à-dire en affirmant, sans preuve, ce qui justement est en question ; absolument comme elle aurait pu dire : *il n'existe que des grandeurs ayant des racines carrées*, donc l'idée du nombre 2 est absurde.

Mais, ceci dit, il reste à lui montrer le danger d'employer des *mots* sans en respecter le sens, afin de prouver que s'il y a ici une absurdité mathématique, ce n'est pas moi qui la commets.

En mathématiques, on appelle *absurde* une notion, non pas contraire à une autre, mais contradictoire à elle-même. Or l'idée de la non-divisibilité du *premier état* non seulement n'est, dans ce vrai sens, pas *absurde*, mais c'est une conséquence logique et nécessaire de sa définition, puisque si ce premier état avait une moitié, il y en

aurait un plus petit que lui, et, par conséquent, il ne serait pas le premier.

Ce qui serait absurde, au contraire, ce serait d'attribuer, comme le fait mon critique, la divisibilité au premier état; en d'autres termes, en m'attribuant une absurdité, c'est simplement lui qui commet une erreur. Voilà pour le premier point.

4. Le deuxième concerne la manière de voir de Newton. On conteste que l'illustre géomètre ait eu la notion du *premier* ou *dernier* état de la grandeur. Or c'est là une affirmation mal informée et peu mûrie, puisque j'ai prouvé comme matière de *fait*, c'est-à-dire texte en mains, dans *Newton et le principe de la limite*, avec tout le soin possible et, je pense, avec clarté, que non seulement Newton s'est servi de la notion des *premières* et *dernières raisons*, mais, avant cela même, de celle des *indivisibles* ou infiniment petits absolus.

Je renverrai donc le lecteur à ce travail, auquel, encore une fois, on n'a jusqu'ici rien pu répondre. Mais j'en rappellerai cependant deux points, qui concluront suffisamment et qui fixeront les idées.

Le premier concerne la considération, si capitale chez Newton, des *premières* aussi bien que des *dernières* raisons des grandeurs qui naissent ou qui s'évanouissent, et la suppression ultérieure de ces premières raisons sous l'influence de Cauchy et des errements de l'analyse moderne; ceci évidemment parce que, conformément à une remarque de Newton lui-même, l'idée du *premier rapport des grandeurs* qui croissent à partir de zéro conduirait invinciblement à celle du *rapport des premiers états de ces grandeurs*, lesquels sont des indivisibles.

Le second point concerne la mention expresse faite par Newton dans le Lemme II du Livre II, que ses *premières particules* ou principes naissants de la grandeur *ne sont pas des grandeurs finies;* et il met le lecteur en garde contre l'idée contraire. « Prenez bien garde, dit-il, d'entendre par là des particules finies, car les particules finies ne sont pas les *moments* » (incréments ou décréments instantanés), « mais les quantités mêmes produites par les moments. Il faut donc prendre pour particules les principes naissants des quantités finies. » A ces particules, ni zéro, ni finies, donc infiniment petites, Newton attribue une grandeur, comme en disant, dans le même Lemme, que, dans ce Lemme, il ne considérera pas la grandeur de ces moments, mais seulement leur premier rapport; comme ailleurs en en donnant des exemples concrets, tel celui de la dernière vitesse, ni zéro, ni finie, d'un mouvement qui s'éteint, et en condamnant l'idée qu'il n'y aurait pas de dernière vitesse différente de zéro. Enfin, en ce qui concerne la méthode même des indivisibles, il dit qu'il aurait eu par les indivisibles des démonstrations plus courtes, mais que, parce que leur notion paraît trop dure à faire accepter (1), il a mieux aimé n'employer que les premières et dernières raisons des quantités qui naissent ou s'évanouissent.

En restant dans ces seuls derniers termes, il y aurait ici encore une question nette à poser aux géomètres actuels, question à laquelle, vraisemblablement, ils ne

---

(1) *Minus geometrica censetur.*

répondront pas non plus : celle de savoir pourquoi ils ont supprimé d'office, dans la science et dans l'enseignement, la moitié de la doctrine de Newton, c'est-à-dire la considération des *premières raisons* des quantités qui croissent à partir de zéro.

Nous répondrons, nous, que c'est, trop évidemment, parce qu'ils ont bien senti que si en employant toujours les dernières raisons, c'est-à-dire en faisant seulement décroître les grandeurs indéfiniment, on peut noyer plus facilement l'idée de l'infiniment petit absolu ou du dernier état dans le brouillard de l'indéfini, cela n'est plus possible et qu'on n'a plus cette ressource quand on part de l'autre bout, c'est-à-dire quand on fait croître les grandeurs à partir du zéro ; car alors on se trouve, de but en blanc, en présence de cet infiniment petit absolu, c'est-à-dire en présence des *premières* grandeurs, dont le rapport constitue la *première* raison.

S'il y a une idée claire et invincible, c'est celle-là ; *sans même parler d'infiniment petit*, il suffirait donc, en prenant pour base une autorité telle que celle de Newton, de réintroduire dans l'enseignement cette simple notion des premières aussi bien que celle des dernières raisons (la seule conservée aujourd'hui, et pour cause) pour que, par la seule force du sens commun, la notion de l'infiniment petit absolu y fasse d'elle-même son chemin et y reconquière sa place légitime.

Je reviendrai sur ce sujet. Pour le moment, il me suffit d'avoir établi, soit en renvoyant à mon travail sur Newton, soit par les seuls extraits rappelés : 1° que Newton a eu la notion de l'infiniment petit absolu et de son indivisibilité ; 2° qu'il s'en est servi ; et 3° qu'il l'a

même défendue par des exemples. Après cela, il ne reste donc rien non plus de la deuxième objection (1).

---

(1) Il est intéressant, pour apprécier le danger de se fonder sur des opinions autorisées, et la nécessité de tout examiner par soi-même, de noter, par exemple, la manière dont D'Alembert, au cours d'un même article, cite deux passages du même scolie de Newton.

« On peut se passer très aisément, » dit-il, « de toute cette métaphysique de l'infini dans le calcul différentiel... M. Newton est parti d'un autre principe, et l'on peut dire que la métaphysique de ce grand géomètre sur le calcul des fluxions est très exacte et très lumineuse... Il n'a jamais regardé le calcul différentiel comme le calcul des quantités infiniment petites, mais comme la méthode des premières et dernières raisons, c'est-à-dire la méthode de trouver les limites des rapports. Aussi cet illustre auteur n'a-t-il jamais différentié des quantités mais seulement des équations, etc.» [On pourra se rendre compte de la confiance que mérite cette appréciation en lisant le Lemme II du second livre de Newton (voir *Newton et le principe de la limite*).] Et un peu plus loin : « Nous ne dirons donc pas, avec bien des géomètres, qu'une quantité est infiniment petite, *non avant qu'elle s'évanouisse, non après qu'elle est évanouie, mais dans l'instant même qu'elle s'évanouit;* car que veut dire une définition si fausse, cent fois plus obscure que ce qu'on veut définir ? ». passage qui se termine par l'exclamation : « Charlatanerie que tout cela ! La vérité est simple, etc. » (J'ai souligné le passage.)

Mais quels sont ces géomètres que D'Alembert arrange si mal ? C'est tout d'abord Newton lui-même, quoiqu'il en vise d'autres; mais ici, et pour cause, il ne mentionne plus son nom. « On pourrait dire contre le principe des premières et dernières raisons », écrit en effet Newton, « que les quantités qui s'évanouissent n'ont point de dernière proportion entre elles; parce qu'avant de s'évanouir, la proportion qu'elles ont n'est pas la dernière, et que lorsqu'elles sont évanouies, elles n'en ont plus aucune. » « Mais », rétorque-t-il, « on pourrait soutenir par le même raisonnement qu'un corps qui parvient d'un mouvement retardé à un certain lieu où son mouvement s'éteint, n'a point de dernière vitesse; car, dirait-on, avant que ce corps soit parvenu à ce lieu, il n'a pas encore sa dernière vitesse, et quand il l'a atteint, il n'en a aucune. » « Or », conclut-il, dans les termes mêmes que critique si vertement D'Alembert, « la réponse

5. *L'argument du millionnaire.*

Après avoir répété plusieurs fois que mes idées sont absurdes, qu'on ne considère pas en mathématiques des

---

à cet argument est facile; on doit entendre par la dernière vitesse de ce corps celle avec laquelle il se meut, non pas avant d'avoir atteint le lieu où son mouvement cesse, non pas après qu'il a atteint ce lieu, mais celle qu'il a dans l'instant même qu'il atteint ce dernier lieu et avec laquelle son mouvement cesse. Il en est de même de la dernière raison des quantités évanouissantes : il faut entendre par cette raison celle qu'ont entre elles des quantités qui diminuent, *non pas avant de s'évanouir, ni après qu'elles sont évanouies, mais celle qu'elles ont dans le moment même qu'elles s'évanouissent.* De la même manière, la première raison des quantités naissantes est celle que les quantités qui augmentent ont au moment qu'elles naissent, et la première ou dernière Somme » (intégrale) « de ces quantités est celle qui répond au commencement ou à la fin de leur existence, c'est-à-dire au moment qu'elles commencent à augmenter ou qu'elles cessent de diminuer »; (et encore : « il y a une certaine borne que la vitesse d'un corps peut atteindre à la fin de son mouvement, et qu'elle ne saurait passer; c'est cette vitesse qui est la dernière vitesse du corps », etc.).

On voit par ces passages non seulement que l'analyse que D'Alembert fait de la conception de Newton, en disant que Newton n'a jamais considéré le calcul différentiel comme celui des quantités infiniment petites en elles-mêmes (alors qu'au contraire au Lemme II du Livre II il met en garde contre l'idée de faire de ses moments ou incréments des quantités finies, et différentie directement des grandeurs), est entièrement controuvée, mais qu'il sent trop bien le danger pour la théorie des limites de citer partout, ce que la correction dans tous les sens exigerait cependant, le nom de Newton. Quand il s'agit du passage de Newton sur la limite, c'est un « grand géomètre » et un « auteur illustre ». Quand il s'agit des passages sur l'infiniment petit, où il devrait en toute justice le mettre au rang de ces géomètres qu'il traite de charlatans, il ne lui fait plus, mais pour cause, c'est-à-dire afin de ne pas se diminuer lui-même, l'honneur de le citer. Ceci peut donner, à ceux qui y croiraient encore, une idée de ce que valent les arguments d'autorité.

grandeurs indivisibles, c'est-à-dire après n'avoir, en somme, rien dit, puisque ce qu'il faudrait, ce serait, en résolvant les petits problèmes proposés par moi, donner la preuve qu'on peut, en mathématiques, se passer de la notion de l'infiniment petit et de l'indivisible, — et que ce grain de mil ferait bien mieux notre affaire, — sentant évidemment que ce mode d'argumentation s'affaiblissait en se répétant, on s'est rabattu tout d'un coup, et comme victorieusement, pour prouver l'impossibilité du premier ou du dernier état de la grandeur, sur un exemple de sens commun.

« Voyons, Messieurs, s'est-on écrié, supposons un » millionnaire qui perd sa fortune centime par centime; » n'est-il pas évident qu'on ne pourra jamais indiquer le » dernier centime pour lequel il sera ruiné; et que, par » conséquent, le dernier terme de la fortune du million- » naire n'existe pas. »

Cet argument rappelle les jeux d'esprit où l'on détourne l'attention de ce qui est réellement en question, en l'attirant par un mot sur une autre idée. Ici, ce qui est en question, c'est la fortune; et le mot qui détourne l'attention, c'est le millionnaire. Mais il est malheureusement ici trop évident que la fortune a pour dernier état le dernier centime; puisqu'il s'agit du sens commun, chacun sait qu'on peut se ruiner *jusqu'au dernier centime*, et qu'on n'est vraiment ruiné que lorsqu'on ne possède plus rien.

Mon critique aurait aussi bien pu prendre l'exemple du sac de grain. Tout le monde sait qu'on ne peut indiquer à quel grain il commence à être vide; mais ce que tout le monde sait aussi, en dépit des plus officielles spéculations, c'est qu'il y a encore quelque chose quand il reste un dernier grain; et c'est seulement quand ce

dernier grain a disparu que le sac est aussi vide que l'argument.

On voit que si le sens commun est favorable aux idées justes, c'est pour d'autres une arme dangereuse à manier; l' « argument du millionnaire » est un exemple typique, car tout n'est pas dit à son égard, et il eût été difficile d'en choisir un moins approprié. Il ne met pas seulement en évidence de la manière la plus simple la notion du premier et du dernier état, il signale d'une manière toute particulière l'idée d'*indivisibilité* qu'il était destiné à détruire. Car le dernier centime, ou dernier état de la fortune, ou le premier centime, premier état, sont, en fait, des indivisibles ou atomes de fortune; bien plus, des sommes telles que 3 centimes, 101 centimes, etc., sont bien des grandeurs concrètes qui n'ont pas de moitié, de tiers, etc.

L'image serait donc aussi bien choisie qu'il est possible, pour rendre sensible, dans le parallélisme et l'analogie des idées, l'idée abstraite et nécessaire du premier état indivisible de la grandeur. Qu'il s'agisse de l'atome chimique, moindre quantité de matière en partant du néant, de l'atome de distance (1), ou minimum de distance entre deux points, en géométrie, ou du centime, atome de fortune dans l'exemple du millionnaire, partout, sous la forme de l'application physique réelle, ou fictive et légale, on voit se présenter l'idée du moindre état indivisible de la grandeur mathématique.

Si l'on estimait trop puérile la discussion de semblables arguments, on voudrait bien se souvenir qu'on

---

(1) M. Bonnel est, je crois, le premier qui ait introduit l'idée du premier état en géométrie sous ce nom d'atome.

s'en est servi ici même pour refuser la discussion d'une idée fondamentale de la science de la grandeur, défendue par Newton. Il n'était donc pas inutile de les réfuter, et il est, au contraire, très utile d'en prendre acte, car ils sont, par leur pauvreté, une des meilleures preuves de l'impuissance de la notion de la limite par le zéro et des raisons fondées qu'elle a de garder un prudent silence.

6. Un de nos plus éminents confrères, M. Mansion, n'a, il est vrai, pas hésité à engager publiquement son nom dans le débat, en insérant au *Bulletin* la déclaration qu'il ne répondrait pas à M. Lagrange, attendu qu'il avait exposé ses idées dans son cours de calcul infinitésimal.

Prise telle quelle et sans plus de réflexion, cette déclaration semble dire que M. Mansion m'a déjà répondu. Cependant, de ce que M. Mansion a exposé ses idées, il ne s'ensuit nullement qu'il ait répondu à mes questions. Il le dirait clairement s'il l'avait fait; et l'on constatera qu'il s'en garde. Cette déclaration ne constitue donc nullement une justification; ce n'est qu'une manière d'éviter la vraie question, et je suis encore une fois, et bien à regret, ici en désaccord avec mon respecté confrère.

Ce que M. Mansion aurait pu dire, c'est qu'il a publié sur le calcul différentiel un ouvrage remarquable et qui fait autorité; mais il devrait ajouter qu'en fait, il n'y est rien répondu aux questions posées par M. Lagrange. On n'y trouve, en effet, que je sache, ni l'explication de la raison pour laquelle on a supprimé, depuis Newton et sous l'influence de Cauchy, dans l'exposé didactique de l'analyse, la notion des *premières raisons*, qui mettrait immédiatement en évidence les premières grandeurs, pour ne conserver que les *dernières raisons*, qu'on a noyées dans le

vague et l'indéfini de la limite; ni la discussion ouverte, ni la réfutation, ni même l'idée du premier état de la grandeur à partir du zéro; ni la justification de son rejet, et du rejet des indivisibles; et enfin, ce que surtout on y trouve moins encore peut-être, c'est la solution des problèmes dont j'ai proposé la solution à la théorie de la limite, solution qui, on le comprend, l'embarrasse, puisque, en la formulant, elle se condamnerait elle-même. Ni en substance, dans cette déclaration de M. Mansion, ni, on a pu le constater par la lecture de cette note, dans les arguments anonymes auxquels je viens de répondre, il n'est, en effet, prudemment fait même allusion aux problèmes très simples que j'ai proposé de résoudre. Je dis prudemment, parce qu'à en juger par les réponses qu'ici et là on a jusqu'à présent risquées, quoique jamais publiquement malgré mes instances, le plus sage paraît être en effet de s'abstenir. J'ai déjà mis à contribution, à cette intention, à peu près toutes les branches mathématiques; pour rester dans un ordre de notions d'universelle compréhension, je redirai, en me bornant au calcul des probabilités, que lorsqu'on en arrive, pour sauver quand même la limite par le zéro, à identifier la *certitude* et la *vraisemblance*, l'*improbabilité* et l'*impossibilité*, en brouillant ainsi les notions les plus simples et les plus claires du jugement; quand (sous une forme concrète qu'on est confus de devoir imputer à une théorie savante) on est contraint, dans cette théorie de la limite, de déclarer qu'*il y a autant de chance d'atteindre le centre d'une cible en la visant qu'en lui tournant le dos*, — (et l'on a pu constater que cela est bien ainsi, aucun des géomètres défenseurs de la limite n'ayant pu le contester), — une théorie qui possède à son actif des divergences aussi extraordinaires avec le sens commun, c'est-à-dire des

résultats aussi faux, auxquels on la met au défi de répondre publiquement, n'a nullement le droit de se retrancher dans une supériorité que seule lui acquiert sa majorité d'aujourd'hui, et qu'une erreur radicale (je l'ai explicitement définie) doit vicier ses prémisses; en d'autres termes, et si l'on permettait ici le mot un peu vif, mais très littéraire, d'Hamlet sur le royaume de Danemark, conséquences et attitude doivent rendre évident pour tout le monde qu' « il y a quelque chose... qui ne va pas dans le royaume de la limite ».

Il y a, en effet, quelque chose d'extraordinaire à voir, dans une discussion scientifique, les partisans de cette notion classique craindre la responsabilité publique de leurs propres objections, et un géomètre aussi autorisé que M. Mansion invoquer une fin de non recevoir, alors qu'il lui serait si facile de me confondre publiquement en donnant la solution d'un problème de trois lignes. C'est donc bien que les choses sont, à l'actif de la limite, telles que je l'ai dit. La preuve paraît donc faite, et bien faite. Le silence de mes contradicteurs n'est nullement irritant, puisqu'il est démonstratif. Si de nouvelles objections me sont présentées, je déclare que je me ferai toujours un honneur autant qu'un devoir d'y répondre; et quoique, ainsi que je le disais, la preuve éclate par le silence même que l'on m'oppose, je continuerai, dans l'intérêt de la vérité et par de nouvelles preuves, à solliciter le débat, — débat, je le reconnais, à certains égards pénible, en dépit de sa nature purement intellectuelle, lorsque, comme c'est ici le cas, il met dans une opposition radicale, forte d'un silence obligé et démonstratif, avec des confrères pour lesquels on professe la plus déférente estime.

—

Sur un caractère spécifique des minéraux opaques; par G. Cesàro, professeur à l'Université de Liége.

Sénarmont et Wiedemann ont déterminé les lignes de plus grande conductibilité électrique des cristaux.

Le premier enveloppait la lame cristalline d'une mince feuille de clinquant, en communication par une face avec le sol et laissant à nu, sur l'autre face, par une ouverture circulaire, la lame cristalline. Au centre de l'ouverture, il appuyait la pointe d'un conducteur communiquant avec une machine électrique. La ligne suivie par l'étincelle pour gagner les bords de l'ouverture était celle de plus grande conductibilité.

Wiedemann posait sur la lame cristalline, saupoudrée de lycopode, une pointe communiquant avec une machine donnant de l'électricité positive; la poudre repoussée venait dessiner une ellipse ayant pour centre la pointe et dont le grand axe marquait, d'après Wiedemann, la direction de plus grande conductibilité.

*
* *

Mais, à ma connaissance, on n'a pas encore songé à utiliser comme caractère distinctif des minéraux, la plus ou moins grande résistance que ceux-ci présentent au passage du courant électrique; cette propriété, bien plus facile à essayer que la densité et la dureté, constitue un caractère de même ordre que ces derniers et qui, je pense, pourra être utilisé dans *l'étude au microscope des*

fontes, aciers et autres alliages dans lesquels entre un metalloïde enlevant de sa conductibilité au métal, caractère remplaçant ceux de la réfringence et de la biréfringence, qui font défaut à ces substances.

*
* *

Il ne s'agit dans ma communication d'aujourd'hui que d'expériences plus ou moins sommaires faites avec une pile sèche (*) alimentant une lampe à incandescence; j'ai attaché deux fils de platine aux pôles; les extrémités libres de ces fils étaient appuyées sur la parcelle de minéral qu'il s'agissait d'essayer, parcelle qui ne subit aucune préparation et reste attachée à l'échantillon là où elle se trouve : si le minéral est bon conducteur, la lampe fonctionne; pour une plus grande résistance, le fil rougit à peine; enfin, pour des substances très peu conductrices, la lampe reste éteinte.

Dans ces expériences sommaires, je n'ai pu constater de différence d'éclairement lorsque la distance entre les extrémités des fils de platine appuyées sur la lame venait à varier, ou que la masse du minéral à essayer était plus ou moins grande.

*
* *

Il est bien entendu que dans ces expériences sommaires, il ne s'agit que de résistance spécifique moyenne :

(*) Cinq éléments disposés en série; différence initiale de potentiel aux pôles : 5 volts.

il semble probable que pour des cristaux non cubiques, la résistance variera d'une face à l'autre et, pour une même face, d'une direction à l'autre. Ainsi, j'ai déjà pu constater le premier fait dans un grand cristal de mispickel de Nil-Saint-Vincent; le mispickel, étant faiblement conducteur, se prête fort bien à l'observation. J'ai pu nettement constater que l'éclairement, à peine sensible lorsque les extrémités des fils de platine touchent une face terminale e^4, devient assez vivace lorsqu'on opère sur une face latérale m du prisme; on constate la même différence lorsque les fils de platine touchent deux faces e^4 ou deux faces m opposées par le centre.

On pourrait craindre que la trop grande sensibilité du caractère ne nuise à la spécification du minéral; je ne le pense pas (*); en tout cas, il faut observer que la dureté, qui constitue un caractère si précieux, se trouve dans le même cas.

*
* *

Je relaterai, pour commencer, une expérience qui montre bien l'utilité du procédé :

M. l'ingénieur G. Lespineux a découvert, il y a quelque temps, à Visé, sur de l'allophane bleue et accompagnée de cristaux d'azurite, une parcelle qui lui a semblé être du cuivre natif.

Actuellement cette parcelle, qui n'est bien visible qu'à la loupe, se présente sous forme d'une plage rectangu-

---

(*) Les chiffres que l'on obtiendra viendront probablement s'étager dans l'énorme intervalle qui existe entre les résistances des métaux et celles des liquides.

laire, plus ou moins grenue, pouvant être tout aussi bien du cuivre natif que de la chalcopyrite. L'échantillon étant unique, il s'agissait de caractériser la substance sans la détacher ni la rayer. Le cuivre est un excellent conducteur; la chalcopyrite ne m'a jamais donné d'éclairement sensible, que j'aie opéré sur un grand cristal ou sur une parcelle. L'emploi de la méthode se présentait ici bien naturellement : en me servant de la loupe, j'ai touché, avec les fils de platine, les extrémités de la plage rectangulaire et la lampe s'est vivement éclairée, ce qui a indiqué que l'on avait affaire à du cuivre.

*
* *

Les résultats de ces expériences sommaires peuvent se résumer comme il suit :

1° Tous les corps *transparents* sont *non conducteurs;*

2° Tous les *silicates* sont *non conducteurs;*

3° Tous les *sulfosels*, y compris la stéphanite ($Sb^2S^3.5Ag^2S$) et la polybasite ($Sb^2S^3.9Ag^2S$), sont *non conducteurs;*

4° Tous les *oxydes*, *sauf la magnétite*, qui conduit assez bien, sont *non conducteurs.*

On voit que les *conducteurs* se trouvent confinés, à quelques exceptions près, dans les *corps simples*, *amalgames*, *sulfures*, *arséniures*, *antimoniures*, *tellurures* opaques;

5° L'arsenic, l'antimoine, le tellure semblent communiquer leur conductibilité à la substance, tandis que le soufre lui donne sa résistance. Ainsi, tandis que l'argyrose Ag^2S est non conductrice, la hessite Ag^2Te laisse assez bien passer le courant; de même, la tétradymite

Bi^2Te^3 est conductrice, tandis que la bismuthine ne l'est pas.

Voici la liste de quelques minéraux remarquables soumis à l'expérience :

Conducteurs : Métaux, arsenic, antimoine, bismuth, graphite, tellure, galène (clivable) PbS, bornite Cu^3FeS^3, hessite, chalcosine Cu^2S, pyrrhotine Fe^7S^8, covelline CuS, nickéline NiAs, ulmannite NiSbS, gersdorffite NiAsS, smaltine $CoAs^2$, cloanthite $NiAs^2$, sylvanite $AuAgTe^4$, magnétite Fe^3O^4.

Assez bons conducteurs : Mispickel FeAsS, glaucodot (Co,Fe) SAs.

Mauvais conducteurs : Soufre, réalgar As^2S^2, orpiment As^2S^3, stibine Sb^2S^3, bismuthine, molybdénite MoS^2, argyrose, blende ZnS, alabandine MnS, cinabre HgS, chalcopyrite $CuFeS^2$, marcasite FeS^2, pyrargyrite $Sb^2S^3.3Ag^2S$, proustite $As^2S^3.3Ag^2S$, oligiste Fe^2O^3, rutile TiO^2, cassitérite SnO^2, fer titané $FeTiO^3$, matlockite Pb^2OCl^2, wolfram, hubnérite, niobite, ainsi que céruse $PbCO^3$, anglésite, $PbSO^4$ et tous les sels transparents.

*
* *

On voit par ce qui précède que la propriété dont il s'agit semble plutôt une propriété moléculaire qu'une propriété tenant à la forme du réseau, c'est-à-dire à la forme de l'ensemble des centres moléculaires. Ainsi, tandis que Cu^2S est conducteur, à cause de la prépondérance du nombre d'atomes métalliques sur celui des atomes de soufre, $CuFeS^2$ ne l'est pas; $CoAs^2$ est très bon conducteur, tandis que CoSAs est assez mauvais conducteur; chaque atome de soufre paraît ajouter sa résistance, chaque atome d'arsenic sa conductibilité.

Cependant l'arrangement des centres moléculaires aura aussi une certaine influence; comme preuve, il suffit d'envisager la différence de conductibilité signalée ci-dessus pour le mispickel, suivant que l'on expérimente sur telle ou telle face. Ajoutons à l'appui de cette opinion les faits suivants, qui montrent que des corps de même composition chimique peuvent posséder des conductibilités bien différentes.

*
* *

Pyrite et marcasite. Cristaux de pyrite conducteurs et cristaux non conducteurs. — La pyrite et la marcasite ont pour formule FeS^2; comme pour la hauérite MnS^2, à cause de la prépondérance du soufre, on s'attendrait à obtenir une forte résistance pour le courant; cela a lieu effectivement pour la marcasite (*), qui ne conduit pas du tout; mais, pour la pyrite (**), on arrive à un résultat très curieux. On sait qu'il existe deux espèces d'hexadièdres de pyrite : les faces des uns sont striées *parallèlement* à l'arête au milieu de laquelle aboutit l'axe parallèle à l'arête du cube; dans les autres, les faces sont striées *perpendiculairement* à la même arête. Or, les cristaux à *stries parallèles* sont *mauvais conducteurs* et les cristaux à *stries normales* se laissent *très bien traverser par le courant*, que les extrémités des fils de platine soient appuyées sur la même face ou sur des faces différentes.

Dans la cobaltine CoSAs, cristallisant comme la pyrite,

(*) La marcasite cristallise dans le système orthorhombique.

(**) La pyrite cristallise dans le groupe parahémiédrique du système cubique.

on rencontre aussi des cristaux de deux sortes : les uns médiocrement conducteurs, les autres résistants; dans tous les cristaux de la seconde catégorie où les stries étaient observables, celles-ci étaient *parallèles*.

*
* *

Cinabre et métacinnabarite. — Ces deux corps ont pour formule HgS. Le cinabre, rhomboédrique et transparent, ne conduit pas ; la métacinnabarite, tétraédrique et opaque, est un fort bon conducteur. En réalité, la métacinnabarite contient un peu de sulfure de fer ou de zinc. L'échantillon qui m'a servi à l'essai de conductibilité vient des Asturies; je l'ai analysé jadis et j'ai prouvé que le sulfure de zinc y existe à l'état de mélange, vu que l'acide chlorhydrique l'enlève sans désagréger la substance.

*
* *

Cas exceptionnel. Galène PbS *et argyrose* Ag^2S. — On s'attendrait à trouver l'argyrose bonne conductrice, étant donné le grand pouvoir conducteur de l'argent comparé à celui du plomb et la présence de deux atomes de métal. En réalité, la galène n'est assez bonne conductrice que lorsque le clivage cubique est bien manifeste; la galène très finement grenue ne conduit pas. Mais cette différence est-elle bien due au changement de texture du minéral, ou bien à ce fait que la galène est d'autant plus riche en sulfure d'argent qu'elle est plus (*) grenue? Dans ce cas,

(*) Ce qui est compréhensible, le clivage de la galène n'existant pas dans l'argyrose.

la conductibilité variant fortement depuis l'argyrose jusqu'à la galène, *une mesure de résistance électrique pourrait donner rapidement le % d'argent* contenu dans une *galène argentifère.*

*
* *

En consultant le tableau des corps conducteurs donné ci-dessus, on voit que le procédé sommaire dont il s'agit permet de distinguer immédiatement certains corps qui se ressemblent beaucoup et cela sans détériorer nullement l'échantillon sur lequel ils se trouvent; je citerai : molybdénite et graphite, chalcosine et stéphanite, etc.

*
* *

Le dispositif pour expériences précises sera le même que celui employé pour mesurer la résistance des fils métalliques; seulement les électrodes seront appuyés en deux points de la face cristalline à essayer, *normalement* à celle-ci. Dans ces conditions, quelques essais sommaires nous portent à croire que le courant sera sensiblement superficiel, tant que la substance de l'électrode conduit mieux que le minéral ou que, tout au moins, le courant traversera la substance en plongeant en dessous de sa surface extérieure d'une quantité qui ne variera pas, pour une même substance, avec l'épaisseur de la lame. Dans ce cas, outre la résistance spécifique à mesurer, les seuls facteurs qui interviendront seront les dimensions de la section par laquelle l'électrode s'appuie sur la lame et la distance des électrodes, facteurs que l'on rendra constants ou dont il sera facile de tenir compte.

—

Sur les modifications subies par les solutions de soude injectées dans le torrent circulatoire et la cause de l'apnée; par le Dr Ant. Hougardy, assistant à l'Université de Liége.

CHAPITRE PREMIER.

MODIFICATIONS DES SOLUTIONS DE SOUDE ADMINISTRÉES EN INJECTIONS INTRAVEINEUSES.

M. le professeur L. Fredericq (1), dans son mémoire sur la cause de l'apnée, a cherché à produire ce phénomène par des injections intravasculaires de soude, en se basant sur les affinités de NaOH pour CO_2. Il pensait obtenir, par fixation de CO_2 sur NaOH, une diminution de tension de l'anhydride carbonique du sang, capable d'amener la suspension de la respiration.

Ses tentatives furent vaines, et l'auteur attribue son insuccès au fait que les injections intraveineuses de soude sont impuissantes à augmenter durablement l'alcalinité sanguine.

Il était intéressant de rechercher ce que devient la soude introduite dans l'organisme par la voie vasculaire.

---

(1) L. Fredericq, *Sur la cause de l'apnée.* (Bull. de l'Acad. roy. de Belgique [Classe des sciences], n° 7, 1900, p. 464.)

La question était d'autant plus intéressante, qu'il a été démontré par Salkowski (1) que l'introduction de H_2SO_4 dans le sang du lapin diminue l'alcalinité de ce liquide, tandis que, chez le chien, l'alcalinité ne varie pas. Gaethgens (2) montra que les bases fixes ne concourent pas à neutraliser l'acide; Walter (3) prouva que, chez le chien, la neutralisation se fait par production de NH_3. Winterberg (4) établit que le phénomène se passe de la même façon chez les herbivores et les carnivores, mais avec une moindre intensité chez les premiers.

Nous nous sommes donc demandé quel est le mécanisme régulateur de l'alcalinité sanguine chez le chien et le lapin, mécanisme signalé par Fodera et Ragona (5).

L'historique de cette question est nécessairement très bref; on ne trouve guère que les travaux de C. Lehmann (6) sur l'influence de CO_2 sur les affinités alcalines du sang; Pergami (7) est parvenu à augmenter légèrement et d'une façon passagère l'alcalinité du sang.

---

(1) Salkowski, *Ueber Möglichk. der Alkalientziehung beim lebenden Tier.* (Arch. Virchow, 1873, t. LVIII, p. 134.)

(2) Gaethgens, *Centralbl. f. med. Wissensch.*, 1872, n° 53.

(3) Walter, *Untersuch. über die Wirk. von Säuren auf den tier. Organismus.* (Arch. f. Pharmak. und exp. Path., 1877, t. VII, p. 148.)

(4) Winterberg, *Zeitsch. f. physiol. Chemie,* 1898, t. XXV, pp. 202 à 235.

(5) Fodera et Ragona, *Studie sull' alcalescenzia del sangue.* (Arch. d. farmac. e terap., 1897, t. V.)

(6) C. Lehmann, *Arch. f. Physiol.*, t. LVIII, p. 402.

(7) Pergami, *Azione della sostanze alcaline sosministrate per la via dell stomaco sull alcalescenzo.* (Ann. di farmacot., 1899, p. 293.)

Ce résultat est d'accord avec les recherches de Witold (1), qui signale en outre la proportionnalité existant entre l'alcalinité sanguine et le nombre des globules rouges, fait contesté par Fodera et Ragona.

Nous ne discuterons pas ici la valeur des différentes méthodes d'hémoalcalinimétrie, dont la plupart ne sont que des méthodes cliniques inutilisables pour le genre de recherches que nous avons entreprises.

§ 1. — *Injections de soude chez le lapin.*

Nous avons, chez cet animal, fait des injections intraveineuses de soude très lentes et nous avons dosé dans le sang et l'urine l'alcalinité au moyen de la méthode de Lœwy. Le lapin était placé en cage vingt-quatre heures avant l'expérience et ne recevait que de l'eau ; ses urines étaient recueillies soigneusement. Au moment de l'expérience, on prélevait au moyen d'un matras gradué 5 centimètres cubes de sang dans lesquels on dosait l'alcalinité. Une fois l'injection faite, on recueillait un nouvel échantillon de sang et l'urine émise pendant l'opération. La solution injectée était une solution $^1/_5$ *norm.* de soude caustique. Les $^4/_5$ restants étaient formés d'une solution de sel marin à 9 $^0/_{00}$.

Nous avons fait de nombreuses injections, qui toutes

---

(1) Witold, *Centralbl. f. Stoffwechsel und Verdauungskrankheiten*, 1902, n° 2.

nous ont donné des résultats identiques à ceux des trois protocoles ci-dessous :

I. — Lapine à jeun de $2^{kgr}300$. Injection de 106 centimètres cubes NaOH $^1/_5$ *norm.* dans la jugulaire droite, soit $0^{gr}848$ NaOH en dix-huit minutes.

5 centimètres cubes de sang avant l'injection valent $28^{cc}8$ HCl $^1/_{25}$ *n*.

5 centimètres cubes de sang une minute après l'injection de NaOH valent $35^{cc}2$ HCl $^1/_{25}$ *n*.

5 centimètres cubes de sang une heure après l'injection de NaOH valent $29^{cc}3$ HCl $^1/_{25}$ *n*.

5 centimètres cubes d'urine émise vingt-quatre heures avant l'injection valent $5^{cc}3$ HCl $^1/_{25}$ *n*.

5 centimètres cubes d'urine émise pendant l'injection valent $4^{cc}85$ HCl $^1/_{25}$ *n*.

5 centimètres cubes d'urine émise une heure après l'injection valent $5^{cc}7$ HCl $^1/_{25}$ *n*.

La quantité d'alcali éliminée en une heure après le début de l'injection vaut $0^{gr}34$ NaOH, soit $^1/_5$ de la quantité totale injectée.

II. — Lapine de $2^{kgr}600$, à jeun. 58 centimètres cubes NaOH $^1/_5$ *n* valant $0^{gr}47$ NaOH en quatorze minutes dans la jugulaire droite.

5 centimètres cubes de sang avant l'injection valent $29^{cc}95$ HCl $^1/_{25}$ *n*.

5 centimètres cubes de sang une minute après l'injection valent $33^{cc}1$ HCl $^1/_{25}$ *n*.

5 centimètres cubes de sang une heure après l'injection valent $30^{cc}07$ HCl $^1/_{25}$ *n*.

5 centimètres cubes d'urine émise dans les vingt-quatre heures précédant l'injection valent $1^{cc}7$ HCl $^1/_{25}$ *n*.

5 centimètres cubes d'urine émise pendant l'injection valent $2^{cc}4$ HCl $^1/_{25}$ *n*.

5 centimètres cubes d'urine émise une heure après l'injection valent $3^{cc}01$ HCl $^1/_{25}$ *n*.

Quantité d'alcali éliminée sous l'influence de l'injection : $0^{gr}31$ NaOH.

III. — Lapine de 2 kilogrammes, à jeun. 60 centimètres cubes NaOH $^1/_5$ n valant $0^{gr}48$ NaOA dans la jugulaire gauche en quatorze minutes.

5 centimètres cubes de sang avant l'injection valent 26 centimètres cubes HCl $^1/_{25}$ n.

5 centimètres cubes de sang une minute après l'injection valent 31 centimètres cubes HCl $^1/_{25}$ n.

5 centimètres cubes de sang une heure après l'injection valent $26^{cc}8$ HCl $^1/_{25}$ n.

5 centimètres cubes d'urine émise dans les vingt-quatre heures avant l'injection valent $2^{cc}9$ HCl $^1/_{25}$ n.

5 centimètres cubes d'urine émise pendant l'injection valent $4^{cc}1$ HCl $^1/_{25}$ n.

5 centimètres cubes d'urine émise une heure après l'injection valent $2^{cc}5$ HCl $^1/_{25}$ n.

Quantité d'alcali éliminée : $0^{gr}077$ NaOH.

On voit par l'examen de ces tableaux qu'une notable partie de l'alcali injecté se retrouve dans les urines sous forme alcaline et que l'élimination se fait rapidement, grâce à une diurèse active; on peut, en outre, constater l'augmentation appréciable, quoique très passagère, de l'hémoalcalinité. Nous avons cherché à contrôler ces résultats en utilisant une autre méthode, basée sur ce fait que si l'alcalinité sanguine augmente, la capacité pour CO_2 du sang ainsi alcalinisé doit augmenter proportionnellement. Voici le procédé opératoire employé :

Avant de pratiquer l'injection intraveineuse de NaOH, on prélève chez un lapin deux échantillons de sang. Dans le premier, on dose comme précédemment l'alcalinité; dans le deuxième, on fait passer un courant de CO_2 produit par un appareil de Kipp. Au bout d'une heure, ce sang est certainement saturé de CO_2; on extrait alors les

gaz du sang au moyen de la pompe à mercure et on en fait l'analyse au moyen des pipettes et burettes de Hempel.

Immédiatement après la fin de l'injection de NaOH, on prend deux nouveaux échantillons qui sont traités comme les deux premiers. Les tableaux ci-dessous font voir qu'à une augmentation d'hémoalcalinité démontrée par la méthode de Lœwy, correspond bien une augmentation de la capacité du sang vis-à-vis de CO_2.

I. — Lapine à jeun de $2^{kgr}900$. Injection dans la jugulaire gauche de 100 centimètres cubes NaOH $^1/_5$ n en vingt minutes.

5 centimètres cubes de sang avant l'injection valent 43 centimètres cubes HCl $^1/_{25}$ n.

10 centimètres cubes de sang avant l'injection dissolvent $17^{cc}6$ CO_2.

5 centimètres cubes de sang une minute après l'injection valent $49^{cc}2$ HCl $^1/_{25}$ n.

10 centimètres cubes de sang une minute après l'injection dissolvent $23^{cc}3$ CO_2.

II. — Lapin à jeun de 3 kilogrammes. Injection dans la jugulaire gauche de 120 centimètres cubes NaOH $^1/_5$ n en dix-huit minutes.

5 centimètres cubes de sang avant l'injection valent $32^{cc}7$ HCl $^1/_{25}$ n.

10 centimètres cubes de sang avant l'injection dissolvent $19^{cc}1$ CO_2.

5 centimètres cubes de sang une minute après l'injection valent $36^{cc}4$ HCl $^1/_{25}$ n.

10 centimètres cubes de sang une minute après l'injection dissolvent $23^{cc}5$ CO_2.

En résumé, les injections intraveineuses de soude chez le lapin augmentent passagèrement l'alcalinité du sang; à ce point de vue, le dosage de la quantité de CO_2 capable de se dissoudre dans le sang confirme les résultats fournis

par la méthode de Lœwy. L'animal élimine, en outre, très rapidement, une quantité importante (jusque $^2/_3$) de l'alcali injecté, grâce à une diurèse élevée.

§ 2. — *Injections intraveineuses de soude chez le chien.*

La même technique a été suivie pour le chien que pour le lapin; seulement, nous avons ici dosé, en outre, l'alcalinité du sérum de façon à connaître la répartition de l'alcali entre les globules et le sérum. Dans ce but, du sang était recueilli par le bout central d'une carotide, défibriné, puis centrifugé.

Deux protocoles suffiront à montrer la marche des opérations et les résultats obtenus :

I. — Chien de 6 kilogrammes; 6 centigrammes de morphine. Injection dans la veine crurale droite de 250 centimètres cubes NaOH $^1/_5$ n, soit 2 grammes NaOH. Alcali éliminé : $0^{gr}1632$ NaOH.

5 centimètres cubes de sang avant l'injection valent $17^{cc}9$ HCl $^1/_{25}$ n.

5 centimètres cubes de sang quatre minutes après l'injection valent $16^{cc}1$ HCl $^1/_{25}$ n.

5 centimètres cubes de sang trente minutes après l'injection valent $16^{cc}3$ HCl $^1/_{25}$ n.

5 centimètres cubes de sérum pris avant l'injection valent $7^{cc}4$ HCl $^1/_{25}$ n.

5 centimètres cubes de sérum pris quatre minutes après l'injection valent $8^{cc}8$ HCl $^1/_{25}$ n.

A 50 centimètres cubes d'une solution 1 °/₀ de sang pris avant l'injection, il faut ajouter 19, puis 23 centimètres cubes d'eau pour lui donner la même teinte qu'une solution à 1 °/₀ faite avec du sang pris quatre et trente minutes après l'injection.

5 centimètres cubes d'urine émise avant l'injection valent 8cc9 HCl $^1/_{25}$ n.

Pas d'urine pendant l'injection.

5 centimètres cubes d'urine émise dans les trente minutes après l'injection valent 6cc8 HCl $^1/_{25}$ n.

Le second échantillon de sérum était fortement teinté d'hémoglobine.

II. — Chien de 8 kilogrammes; 8 centigrammes de morphine. Injection de 206 centimètres cubes NaOH $^1/_5$ n dans la veine crurale droite en vingt minutes; soit 2gr048 NaOH. Alcali éliminé : 0gr291 NaOH.

5 centimètres cubes de sang avant l'injection valent 21 centimètres cubes HCl $^1/_{25}$ n.

5 centimètres cubes une minute après l'injection valent 20cc95 HCl $^1/_{25}$ n.

5 centimètres cubes de sang quarante minutes après l'injection valent 20cc8 HCl $^1/_{25}$ n.

5 centimètres cubes de sérum avant l'injection valent 7cc2 HCl $^1/_{25}$ n.

5 centimètres cubes de sérum une minute après l'injection valent 8cc4 HCl $^1/_{25}$ n.

A 50 centimètres cubes d'une solution de sang à 1 °/o faite avant l'injection, il faut ajouter, pour avoir la même teinte que des solutions à 1 °/o faites avec du sang pris une et quarante minutes après l'injection, 14 et 19 centimètres cubes d'eau.

5 centimètres cubes d'urine émise avant l'injection valent 6cc1 HCl $^1/_{25}$ n.

5 centimètres cubes d'urine émise pendant l'injection valent 7cc05 HCl $^1/_{25}$ n.

5 centimètres cubes d'urine émise quarante minutes après l'injection valent 10 centimètres cubes HCl $^1/_{25}$ n.

Le second échantillon de sérum est légèrement teinté d'hémoglobine, de même que les urines émises pendant l'expérience.

On voit, par les tableaux ci-dessus, que le chien élimine rapidement par le rein une notable partie de l'alcali injecté que l'on retrouve dans l'urine sous forme alcaline ($NaOH$, Na_2CO_3 ou $NaHCO_3$); les globules du chien sont moins résistants à la soude que ceux du lapin, car, chez cet animal, l'hémoglobinurie est tout à fait exceptionnelle. Si l'on cherche à connaître quelle est la répartition de l'alcali entre globules et sérum, on obtient les résultats suivants. Disons d'abord quels sont les éléments du calcul :

On admet généralement que le sang du chien normal contient 63 volumes de sérum pour 37 volumes de globules. Connaissant l'alcalinité du sérum et du sang complet, on peut donc savoir l'alcalinité des globules.

Après l'injection, le nombre des globules non altérés est déterminé par l'utilisation des dosages d'hémoglobine. Dans cette façon d'apprécier la quantité de globules après l'injection, il y a une cause d'erreur résultant de la dissolution d'une notable fraction d'hémoglobine dans le plasma. Le chiffre de globules trouvé est donc trop fort et, partant, le rapport entre globules avant et après l'administration de soude est trop faible. Quoi qu'il en soit, on trouve, en faisant le calcul de la façon indiquée plus haut, que l'alcalinité des globules se chiffre de la façon suivante :

Premier tableau ; chien de 6 kilogrammes	1 centimètre cube de globules avant l'injection vaut $8^{cc}9$ HCl $^1/_{25}$ n. 1 centimètre cube de globules après l'injection vaut $10^{cc}3$ HCl $^1/_{25}$ n.

Rapport : $\frac{10.3}{8.9} = 1.15$.

Deuxième tableau; chien de 8 kilogrammes	1 centimètre cube de globules avant l'injection vaut 7cc01 HCl $^1/_{25}$ n. 1 centimètre cube de globules après l'injection vaut 7cc02 HCl $^1/_{25}$ n.

Rapport : 1.01.

On voit donc qu'une partie de l'alcali injecté s'est certainement fixée sur les globules, de telle sorte que sérum et globules pris isolément ont une alcalinité plus grande qu'avant l'injection.

Nous n'avons étudié, jusqu'ici, que l'élimination de la soude pendant un temps très court après son introduction dans le sang; il fallait des expériences de plus longue durée pour connaître le temps nécessaire à l'élimination totale et la forme sous laquelle se fait cette élimination. Pour arriver à ces résultats, nos chiens ont été maintenus en cage vingt-quatre heures après l'injection intraveineuse, qui était faite avec les précautions d'asepsie voulues; de plus, les quantités de soude ont été beaucoup plus élevées que dans les cas précédents. Les urines recueillies pendant la journée suivant l'opération étaient examinées au point de vue de leur teneur en chlorures ($AgNO_3$, procédé de Volhard), en P_2O_5 (par l'acétate d'urane), en alcali (par la solution $^1/_{25}$ nHCl), en sodium total (par le procédé de Lehmann).

Ces divers procédés ont été empruntés au livre de Neubauer et Vogel : *Analyse des Harns*.

Connaissant la quantité totale de sodium éliminé, les fractions rejetées sous forme d'alcali, de chlorures ou de phosphate, on peut juger si la totalité du sodium injecté a été éliminée et sous quelle forme l'élimination s'est faite. Nous donnerons seulement deux de nos protocoles d'expérience, afin de ne pas allonger inutilement notre exposé.

Expérience I.

Chien de 10 kilogrammes; 5 centigrammes de morphine. Injection de 1,500 centimètres cubes de $NaOH^1/_5$ n (6gr9 Na), $^4/_5$ NaCl 1 °/o (4gr71 Na), en tout 11gr61 Na.

Alcalinité de 5 cent. cubes de sang en cent. cubes de HCl $^1/_{25}$ n.	Alcalinité de 5 cent. cubes de sérum en cent. cubes de HCl $^1/_{25}$ n.	Les urines émises en 24 heures contiennent :			Poids de Na représenté par les chlorures, par P_2O_5 et l'alcali.	Poids total de sodium de l'urine
		Alcalinité en cent. cubes de HCl $^1/_{25}$ n.	Poids des chlorures.	Poids de P_2O_5.		
32cc5 HCl $^1/_{25}$ n.	17 cent. cubes HCl $^1/_{25}$ n.	7,083cc9 HCl $^1/_{25}$ n, soit 6gr600 de sodium.	12gr94 NaCl, soit 5gr11 de sodium.	4gr41 de P_2O_5, soit 1gr425 à 4gr275 de sodium.	13gr135 à 15gr985 de sodium.	12gr301 de sodium.

Expérience II.

Chien de 6 kilogrammes; 3 centigrammes de morphine. Injection de 1,000 centimètres cubes de Na OH $^1/_5$ n, $^4/_5$ Na Cl 1 °/o, soit 7gr74 de sodium.

Alcalinité du sang en cent. cubes de HCl $^1/_{25}$ n.	Alcalinité de 5 cent. cubes de sérum en cent. cubes de HCl $^1/_{25}$ n.	Les urines émises en 24 heures contiennent :			Poids de Na représenté par les chlorures, par P_2O_5 et l'alcali.	Poids total de sodium de l'urine.
		Alcalinité en cent. cubes de HCl $^1/_{25}$ n.	Poids des chlorures.	Poids de P_2O_5.		
19cc7 HCl $^1/_{25}$ n.	6cc3 HCl $^1/_{25}$ n.	3940cc8 HCl $^1/_{25}$ n, soit 3gr588 de sodium.	8gr49 NaCl. soit 3gr22 de sodium.	1gr3 P_2O_5, soit 0gr428 à 1gr284 de sodium.	7gr236 à 8gr092 de sodium.	7gr317 de sodium.

Par cette méthode, nous sommes donc parvenu à retrouver la presque totalité de l'alcali injecté sous forme de NaOH, Na_2CO_3 ou $NaHCO_3$, puisque ces différents éléments sont les seuls dosables dans l'urine par la solution $^1/_{25}$ n de HCl.

On peut donc admettre qu'après une période de vingt-quatre heures, l'élimination de la soude est complète et, de plus, que cette élimination s'opère sans formation d'un acide spécial fabriqué par l'organisme. La soude se combine uniquement à l'acide carbonique du sang.

CONCLUSIONS GÉNÉRALES.

Sous l'influence des injections de soude, l'alcalinité du sang augmente, et cette augmentation porte à la fois sur le sérum et les globules; il se produit fréquemment chez le chien une hémoglobinurie qui explique la diminution apparente de l'alcalinité du sang total dans certains cas.

Nous avons montré que les résultats de la méthode de Lœwy sont confirmés par les expériences de dissolution de CO_2 dans le sang défibriné et, enfin, que l'élimination de la soude se fait exclusivement sous forme d'alcali ou après combinaison de NaOH avec CO_2 du sang.

Ce mécanisme est différent de celui observé pour la neutralisation des acides introduits artificiellement dans l'organisme. Il a été démontré que cette neutralisation s'opère à la faveur d'une production nouvelle de NH_3 et non pas aux dépens des bases fixes du sang.

Or, si NaOH fixe CO_2 du sang, il doit diminuer la tension de ce gaz dans le sang. Si la théorie qui attribue à l'anhydride carbonique un rôle si important dans la res-

piration est vraie, il est possible que les injections de soude peuvent produire l'apnée. C'est le sujet du second chapitre de ce travail.

CHAPITRE II.

SUR LA CAUSE DE L'APNÉE.

§ 1. — *Aperçu historique des différentes théories cherchant à expliquer l'apnée.*

Depuis longtemps, on a réussi à produire l'apnée par la ventilation énergique des poumons au moyen de la respiration artificielle. Rosenthal expliquait le phénomène par une action chimique, la suroxygénation du sang. En 1865, le même auteur (1) observa la persistance de la respiration chez des animaux dont les centres nerveux étaient complètement isolés. La théorie chimique de l'apnée était lancée, mais elle eut à subir de nombreuses objections.

Hoppe-Seyler, Aug. Ewald, etc., montrèrent que dans le sang d'animaux apnéiques, la tension de l'oxygène n'augmente pas suffisamment pour expliquer l'apnée, et Hoppe-Seyler explique l'apnée par la fatigue des muscles respiratoires, causée par la ventilation pulmonaire. Cette hypothèse fut renversée par les expériences de Bieletzki (2), qui parvint à réaliser l'apnée sans intéresser les muscles respiratoires.

---

(1) Rosenthal, *Studien über Athembeweg.* (Arch. f. Anat. u. Physiol., 1865, p. 200.)

(2) Bieletzki, *Ueber die Ursache der Apnoë.* (Biolog. Centralbl., 1882, t. I, p. 743.)

D'autre part, les partisans de la théorie nerveuse signalaient l'impossibilité de produire l'apnée après section des deux nerfs pneumogastriques. Brown-Séquard, Mosso, Marckwald restaient les adeptes de la théorie nerveuse. On démontra bientôt que la section des pneumogastriques rend simplement plus difficile, mais non impossible, la suspension de la respiration par ventilation pulmonaire.

En 1885, Miescher-Rüsch (1) mit en évidence le rôle important de CO_2 comme excitant du centre bulbaire de la respiration.

L. Fredericq (2) montra, à l'aide de l'aérotonomètre, que si la tension de l'oxygène dans le sang des animaux apnéiques est insuffisante à expliquer l'apnée, par contre la diminution de tension de CO_2 acquiert une importance considérable.

Le même auteur (3) établit encore l'influence de la surartérialisation par des expériences de circulation croisée. Suivant L. Fredericq, l'apnée produite par ventilation pulmonaire est donc due à la diminution de tension de CO_2 dans le sang, c'est-à-dire à la suppression de l'excitant normal du centre de la respiration.

Pénétré de cette idée, L. Fredericq tenta de produire l'apnée par des injections intraveineuses de soude, substance capable de fixer CO_2; ce fut sans succès.

---

(1) Miescher-Rüsch, *Arch. f. Physiol.*, 1885, p. 265.

(2) L. Fredericq, *Ueber die Tension des Sauerstoffes im arteriellen Peptonblut.* (Centralbl. f. Physiol., 1894, p. 34.)

(3) L. Fredericq, *Sur la cause de l'apnée.* (Bull. de l'Acad. roy. de Belgique [Classe des sciences], 1900, n° 7, p. 464.)

Dans la première partie de cette étude, nous avons démontré que la soude est bien neutralisée par l'acide carbonique du sang : c'est pourquoi nous avons repris les essais de M le professeur Fredericq.

§ 2. — *Les substances capables de fixer* CO_2 *produisent l'apnée.*

Nous prenons des chiens de taille moyenne, de 5 à 10 kilogrammes, qui reçoivent le plus souvent 1 centigramme de morphine par kilogramme; dans quelques expériences, les animaux avaient reçu seulement $^1/_2$ centigramme de morphine par kilogramme. La pression sanguine est prise dans la carotide; la respiration est enregistrée au moyen du pneumographe de Knoll. Quant à l'injection, elle se fait dans une veine fémorale mise en rapport avec une burette graduée, d'où s'écoule, par son propre poids, une solution $^1/_5$ normale de soude caustique, dont les $^4/_5$ restants sont constitués par une solution de NaCl à 9 ‰; le liquide est préalablement chauffé à 38°.

Si, dans ces conditions, on fait à l'animal une injection lente de NaOH, on ne constate aucune modification du rythme respiratoire ni de la pression sanguine.

Si l'on accélère l'injection, la pression sanguine baisse et les mouvements respiratoires diminuent de nombre et d'amplitude.

Pour une vitesse plus grande encore, on obtient une apnée typique : suspension complète et immédiate de la respiration, chute de la pression sanguine avec accélération des pulsations cardiaques (fig. 1).

L'expérience peut se répéter un nombre considérable de fois chez le même animal.

Des injections plus rapides produisent encore la chute de pression sanguine, mais, au lieu de l'apnée, on constate de la dyspnée.

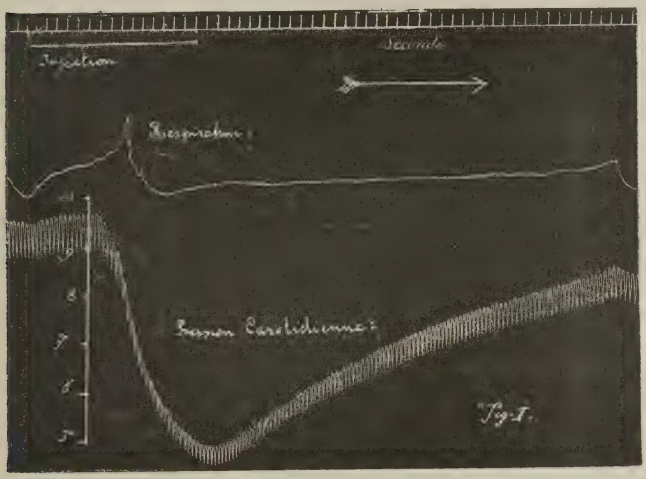


Fig. 1. — Chien, à pneumogastriques intacts, de 8 kilogrammes; 8 centigrammes de morphine. — Injection de 60 centimètres cubes de solution $^1/_5$ n de NaOH. — Secondes. — Respiration. — Pression carotidienne.

Il arrive *parfois* que l'apnée est précédée d'une profonde inspiration, à laquelle on ne peut rattacher la suspension consécutive des mouvements respiratoires, car elle manque dans la plupart de nos tracés.

Avant de poursuivre l'exposé de ces recherches, voyons si ces faits peuvent s'expliquer par la théorie de L. Fredericq.

Les injections intraveineuses lentes de NaOH sont

impuissantes à produire l'apnée, parce que l'organisme fabrique continuellement une quantité de CO_2 supérieure à celle qui est nécessaire à neutraliser l'alcali. Dans ces conditions, l'excitant normal persiste et la respiration continue.

Si la vitesse d'injection est suffisante, la neutralisation absorbe toute la quantité de CO_2 libre, l'excitant n'existe plus et la respiration se suspend.

Si la pénétration du liquide est trop grande et trop rapide, il arrive au contact des centres nerveux un excès de soude non modifié, d'où excitation de ces centres par la soude caustique et dyspnée.

L'apnée peut donc s'expliquer par la diminution de tension de CO_2 dans le sang.

Il était intéressant de savoir si d'autres substances capables de fixer CO_2 *in vitro* produiraient également la suspension de la respiration en injection intraveineuse.

Les résultats ont été positifs pour des solutions $^1/_5$ *n* de Na_2CO_2 et d'eau de chaux.

Par contre, les solutions indifférentes (solution physiologique de NaCl à 7 $^0/_{00}$, solution $^1/_5$ *n* de $NaHCO_3$ exempt de Na_2CO_3) sont sans action sur le centre respiratoire.

Ajoutons que la section des deux pneumogastriques au cou n'influence pas les résultats.

On pouvait considérer l'apnée produite par des injections de substances alcalines comme un acte réflexe ayant son point de départ dans l'excitation des fibres sensibles contenues dans la paroi des vaisseaux. Pour répondre à cette objection, nous avons fait des injections de solution $^1/_5$ *n* de soude dans l'aorte abdominale; dans ces conditions, le trajet à parcourir par le liquide alcalin

pour arriver aux centres nerveux est beaucoup plus long que dans le cas d'une injection intraveineuse. S'il s'agit d'une action chimique, l'apnée se produira plus tardivement ou bien ne se produira pas pour des doses déterminant l'apnée quand on les administre en injection intraveineuse. Si, au contraire, il s'agit d'une action réflexe, elle se manifestera avec la même intensité et aussi rapidement, quel que soit le lieu d'injection. Voici en résumé le procédé opératoire pour l'introduction de la solution dans l'aorte abdominale : on met à nu une carotide dans le bout cardiaque de laquelle on pousse une sonde métallique jusqu'à ce qu'elle soit dans l'aorte abdominale; la solution est alors injectée, au moyen d'une grande seringue graduée, dans le sens du courant sanguin, c'est-à-dire vers l'abdomen.

Ces injections dans l'aorte permettent de constater que l'apnée est beaucoup plus difficile à obtenir que par injection intraveineuse et qu'il faut toujours, pour la produire, des quantités de soude doubles ou triples.

Nous pouvons donc dire que la pause respiratoire n'est pas un acte réflexe. Une autre objection possible consistait à voir considérer l'apnée comme un effet de paralysie du centre par action directe du caustique au contact du tissu nerveux. Afin d'éviter cette critique, nous avons injecté de la soude directement vers les centres, au moyen d'une canule piquante introduite dans une carotide et sans interrompre la circulation dans ce vaisseau. La figure 2 ci-après montre que par ce moyen on obtient, avec 3 centimètres cubes de la solution $^1/_5\ n$ de soude, une hausse de la pression générale avec dyspnée, signes d'excitation du centre respiratoire et vaso-moteur.

Pour ces doses, la section des deux nerfs pneumogastriques ne modifie pas les résultats.

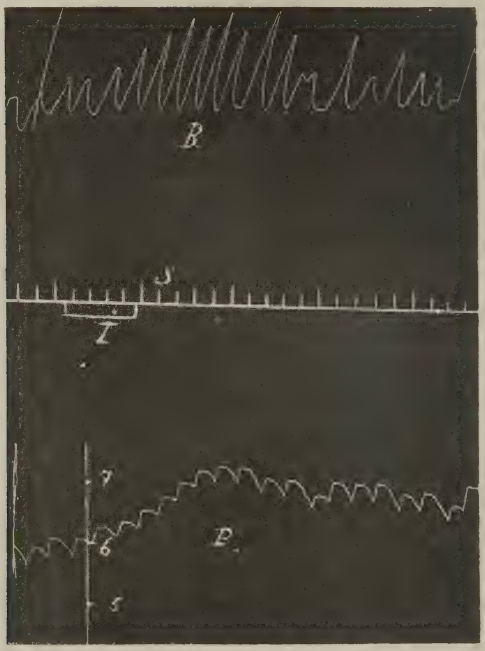


Fig. 2. — Chien, à pneumogastriques intacts, de 6 kilogrammes; 6 centigrammes de morphine. — I. Injection de 3 centimètres cubes NaOH $^1/_5$ n vers les centres. — R Respiration. — P. Pression carotidienne.

Si l'on injecte des doses plus fortes, on voit la respiration s'arrêter (paralysie du centre respiratoire) et la pression tomber très bas, pendant que le cœur cesse de battre.

Après un temps variable, la respiration reprend et la pression revient à son niveau primitif. La section des pneumogastriques supprimant l'arrêt du cœur, on est fondé à dire que celui-ci résulte d'une exagération du tonus d'arrêt des vagues. Il est inutile d'insister sur ces faits, qui démontrent à l'évidence que l'apnée obtenue par injection intraveineuse n'est pas due à une paralysie du centre respiratoire.

Tous les résultats signalés ci-dessus s'obtiennent chez le lapin comme chez le chien.

§ 3. — *L'aérotonomètre indique une diminution de tension de* CO_2 *dans le sang du chien pendant une injection intraveineuse de soude.*

Un chien anesthésié comme précédemment est préparé de la façon suivante :

On met à nu l'artère et la veine crurale d'un côté; la veine est destinée à l'injection de soude; l'artère servira à prendre la pression sanguine au moyen d'une canule de F. Franck.

On dissèque aussi la carotide et la jugulaire externe d'un côté et l'on y place les canules qui les feront communiquer respectivement avec les orifices d'entrée et de sortie de l'aérotonomètre de L. Fredericq. Il faut faire une hémostase très soigneuse, à cause de la nécessité de maintenir le sang incoagulable pendant toute l'expérience; cette condition est réalisée par l'extrait aqueux de têtes de sangsues, à raison de quatre têtes par kilogramme d'animal. L'extrait, additionné d'une quantité

suffisante de solution physiologique, est introduit dans une burette à la température de 40° et injecté rapidement par la veine crurale. Quand la baisse de pression consécutive à la résorption de l'extrait a cessé, on laisse circuler le sang dans l'aérotonomètre pendant vingt-cinq minutes.

La première détermination est toujours faite sur le sang de l'animal normal ; puis la deuxième, pendant une injection de soude ; la troisième, sur l'animal normal ; la quatrième, pendant une nouvelle injection de soude. On inscrit la respiration au moyen du pneumographe de Knoll.

Le dosage de CO_2 dans les gaz extraits de l'aérotonomètre se fait au moyen des burettes de Hempel. Voici les résultats obtenus dans trois de nos expériences :

Expérience I.

Détermination.	Tension de CO_2.	Conditions de l'expérience.
I	5.4 %	Chien normal.
II	4.9 %	Injection de soude.
III	5.27 %	Chien normal.
IV	3.31 %	Injection de soude.

Expérience II.

Détermination.	Tension de CO_2.	Conditions de l'expérience.
I	4.13 %	Chien normal.
II	3.03 %	Injection de soude.
III	4.21 %	Chien normal.
IV	3,33 %	Injection de soude.

Expérience III.

Détermination.	Tension de CO_2.	Conditions de l'expérience.
I	3.49 %	Chien normal.
II	2.97 %	Injection de soude.

Ces injections, malgré leur lenteur forcée (pour ne pas produire de chute de pression gênante pour la circulation dans l'aérotonomètre), provoquent donc un abaissement de la tension de CO_2 dans le sang; celle-ci coïncide par conséquent avec l'apnée et est certainement la cause de la pause respiratoire.

CONCLUSIONS DU CHAPITRE II.

Les injections de toutes les substances capables de fixer CO_2 dans le sang produisent l'apnée quand on les administre par la voie intraveineuse.

La voie aortique retarde les effets de la soude, ce qui permet d'écarter l'hypothèse d'un réflexe ayant son origine dans l'irritation des terminaisons nerveuses de la paroi vasculaire. La section des pneumogastriques au cou ne modifie nullement les résultats.

L'apnée n'est pas non plus le résultat de la paralysie du centre respiratoire par suite du contact direct de l'alcali caustique avec le tissu nerveux.

L'aérotonomètre montre la diminution de tension de CO_2 qui accompagne les injections intraveineuses de CO_2.

Nous pensons donc légitime de conclure que l'apnée est due à la diminution de tension de CO_2 dans le sang.

Travail de l'Institut de physiologie de l'Université de Liége.

—

Deuxième note au sujet de la respiration périodique et des courbes vaso-motrices chez le chien propeptoné; par le Dr P. Nolf.

Dans une note précédente (1), j'ai appelé l'attention des physiologistes sur une particularité très nette observée dans certaines conditions chez des chiens ayant reçu une ou plusieurs injections intraveineuses de propeptone.

Quelquefois ces animaux présentent une respiration périodique accompagnée de très belles courbes de la pression sanguine, d'une longueur égale à celle des périodes respiratoires.

A ce moment, je supposais que le double phénomène était une conséquence directe de l'action de la propeptone sur les centres bulbaires, et je l'avais signalé, à raison de sa netteté, comme objet d'études à ceux qui s'intéressent spécialement à ces questions.

Depuis, j'ai eu l'occasion de faire, au cours d'autres expériences sur le chien, ayant également trait à la physiologie de la peptone, toute une série d'observations qui m'ont permis d'élucider le mode de production, le mécanisme de ce phénomène.

Et la conclusion première de cette analyse, c'est que la propeptone n'est pas du tout le facteur causal du syndrome vaso-respiratoire. Son rôle est seulement de lui imposer une physionomie propre.

---

(1) P. Nolf, *Respiration périodique et courbes vaso-motrices chez le chien propeptoné.* (Bull. de l'Acad. roy. de Belgique [Classe des sciences], p. 975, 1902.)

Dans mes dernières expériences sur l'absorption intestinale de la propeptone, je me suis borné, pour des raisons spéciales, à produire l'anesthésie par le seul emploi du chloroforme, donné seulement pendant la préparation opératoire. L'animal opéré restait ensuite étendu sur la gouttière pendant des heures, sans administration de narcotique.

Or, de tels animaux peuvent présenter avant toute manifestation ultérieure, sans qu'il leur soit donné la moindre drogue, une respiration périodique très nette, tandis que d'autres, traités de la même façon, respirent normalement. Si l'on s'enquiert des différences autres, qui peuvent distinguer les chiens à périodes respiratoires des chiens normaux, on constate rapidement que les premiers s'agitent beaucoup sur la gouttière, tandis que les seconds restent bien tranquilles.

Il y a plus : un animal qui jusqu'alors était calme et respirait normalement, est pris, à un moment donné, pour une cause ou l'autre (bruit, excitation douloureuse d'une plaie, injection trop rapide dans l'intestin, etc.), d'un accès d'agitation. Au sortir de l'accès, il présente la respiration périodique; il peut la présenter définitivement, ou bien, après quelques périodes, la respiration redevient normale pour affecter à nouveau le caractère périodique après un nouvel accès d'agitation. (Voir figure 1.)

Il existe donc une relation de cause à effet entre l'agitation de l'animal et le type périodique de sa respiration. Pendant l'agitation elle-même, ou tout au moins les derniers moments de celle-ci, il y a des recrudescences, qui se marquent précisément au tracé pneumographique par des périodes irrégulières, qui établissent la transition vers les périodes régulières des premiers moments d'ac-

calmie. L'explication toute simple du phénomène est donc celle-ci : quand le chien s'agite, il exagère notablement ses mouvements respiratoires, surtout aux moments de plus vive excitation.

A chaque recrudescence correspond une période d'accélération respiratoire. Il s'établit ainsi un mode respiratoire à recrudescences ou à périodes accompagnées d'habitude d'un gémissement ou d'un aboiement plaintif, qui survit pendant quelque temps à l'agitation même. Celle-ci vient-elle à se reproduire souvent, la respiration périodique, d'abord transitoire, finit par être définitive.

Le phénomène est absolument comparable à ceux sur lesquels François Franck a attiré récemment l'attention. L'éminent physiologiste français a constaté souvent « qu'une excitation auditive ou sensitive générale ayant » déterminé chez un animal curarisé le resserrement » réflexe des vaisseaux des reins, de la rate, de l'intestin, » des extrémités des membres avec élévation de la pres- » sion et accélération du cœur, la même série se repro- » duit, au même degré ou même plus activement, une » première fois au bout d'une demi-minute, puis plu- » sieurs autres fois après trois, cinq et dix minutes ».

Les animaux de François Franck (1) étant curarisés, il est impossible de savoir si la respiration participait aux phénomènes qu'il a observés. Quoi qu'il en soit, il résulte de ses observations comme des miennes que certains centres nerveux ont une tendance à « reproduire à plus ou » moins longue échéance une série de réactions provo-

---

(1) François Franck, *Répétition spontanée à longs intervalles des réactions réflexes provoquées une première fois par une excitation sensitivo-sensorielle ou psychique.* (Comptes rendus de la Société de biologie, t. LV, p. 785, 1903.)

» quée une première fois par une stimulation sensitive » ou psychique.

Comme le fait remarquer François Franck, l'inscription graphique de ces phénomènes est intéressante en ce qu'elle nous fait saisir « sur le fait des actes de véritable » éducation nerveuse ». C'est une habitude qui naît et dont l'acte de naissance s'inscrit automatiquement.

Parmi les auteurs qui ont étudié les variations périodiques spontanées de la pression sanguine, Knoll (1) avait déjà été frappé de la coïncidence que l'on observe entre certaines de ces courbes observées chez le lapin et des modifications périodiques dans l'intensité et la fréquence des mouvements respiratoires.

Il avait observé, de plus, que le début de la période respiratoire coïncidait souvent avec un frisson intense et généralisé. Par l'emploi périodique d'excitations auditives ou cutanées, il avait pu reproduire périodiquement le frisson, accompagné chaque fois de dyspnée et d'une courbe de pression. L'analogie complète qui existait entre ces productions artificielles et les variations périodiques spontanées de la respiration et de la pression sanguine l'avait amené à croire que toutes deux reconnaissaient un mécanisme commun. Seulement pour comprendre l'existence *permanente* des variations spontanées, le physiologiste viennois s'était cru obligé d'admettre des excitations sensitives *continues*. D'après lui, la contention des lapins créait ces dernières. Il admettait avec Mayer que les centres bulbaires réagissent par des décharges périodiques à ces excitations continues.

---

(1) Knoll, *Ueber periodische Athmungs- und Blutdruckschwankungen*. (Sitzungsber. d. Wiener Ak., Bd XCII, Abth. III, S. 439, 1885.)

L'hypothèse des excitations tactiles créées simplement par la contention de l'animal est assez artificielle ; elle manque de base expérimentale, ainsi que l'a montré Rulot (1).

Il est plus conforme aux faits d'accepter l'interprétation de François Franck, avec laquelle sont en plein accord les observations que j'ai pu faire sur mes animaux.

A part cette divergence d'interprétation d'un détail, il existe une ressemblance complète entre la relation que donne Knoll des phénomènes présentés par le lapin et celle qui a été faite plus haut des particularités présentées par mes chiens.

Il y a donc lieu de croire que les deux sont de même nature.

Chez mes chiens non curarisés, la périodicité respiratoire avait un retentissement sur la pression artérielle. Que l'animal fût sous l'influence ou non de la propeptone, on constatait chez lui, dans le tracé manométrique, des courbes de troisième ordre, se superposant aux périodes respiratoires. Mais chez l'animal non propeptoné, la courbe de pression est peu accusée et très irrégulière dans son allure. Il est probable qu'un grand nombre de facteurs mécaniques et nerveux prennent part à son élaboration, de sorte que l'analyse détaillée en serait très difficile et d'ailleurs assez peu intéressante. Cette multiplicité des facteurs qui interviennent dans la production de la courbe, permet de comprendre pourquoi, dans certains cas, la partie ascendante de la courbe de pression coïncide avec le stade d'inspirations croissantes

---

(1) Rulot, *Sur certaines oscillations périodiques de la pression sanguine.* (Travaux du laboratoire de physiologie de Liége, t. VI, p. 67, 1901.)

et pourquoi l'inverse se produit dans d'autres. Knoll avait déjà fait cette observation chez ses lapins. La même irrégularité se présente chez les chiens avant l'intoxication propeptonée.

La propeptone simplifie ces conditions. Administrée de façon convenable, elle produit une forte chute de pression artérielle et l'animal devient plus calme. Les périodes respiratoires perdent ce qu'elles avaient de brusque, de convulsif. Elles s'ordonnent de plus en plus régulièrement. De sorte que la répercussion mécanique d'une respiration haletante sur la circulation tend à disparaître. Les variations respiratoires du tonus du pneumogastrique aussi s'évanouissent et la périodicité respiratoire ne parvient plus à influencer la pression artérielle que par l'intermédiaire des nerfs vaso-moteurs. Mais il semble que les conditions soient devenues plus propices à l'action de ces derniers. La propeptone a diminué le tonus vasculaire périphérique sans cependant paralyser la paroi des vaisseaux. Les vaisseaux détendus réagissent mieux aux influx de constriction revenant périodiquement des centres à chaque phase d'énergie respiratoire croissante; et la courbe vaso-motrice se produit, très ample. Elle est maintenant régulièrement consécutive à la période respiratoire, à laquelle elle succède avec un retard plus ou moins considérable (de une à six secondes) (1). On peut facilement assister, au cours d'une pénétration lente de propeptone dans la circulation, telle qu'elle est réalisée après l'injection intrapéritonéale, par exemple, à la transformation graduelle des courbes de troisième ordre, qui

---

(1) P. Nolf, *Respiration périodique et courbes vaso-motrices chez le chien propeptoné.* (Bull. de l'Acad. roy. de Belgique [Classe des sciences], p. 975, 1902.)

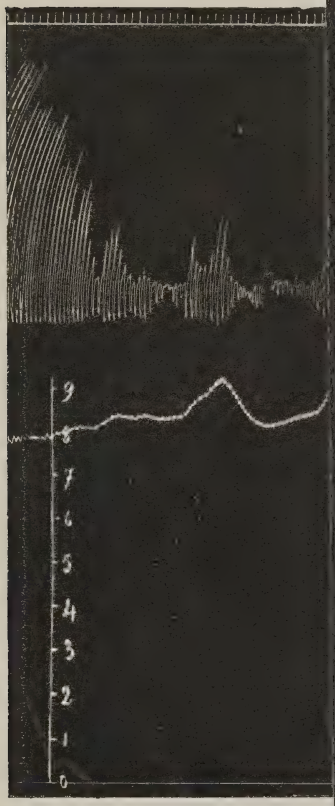


Fig. 1. — Chien de 5kgr5. Pn
25 m., de propeptone dans
Au moment où commence l'in
d'accès passagers d'agitatio
respiration, très nettement p

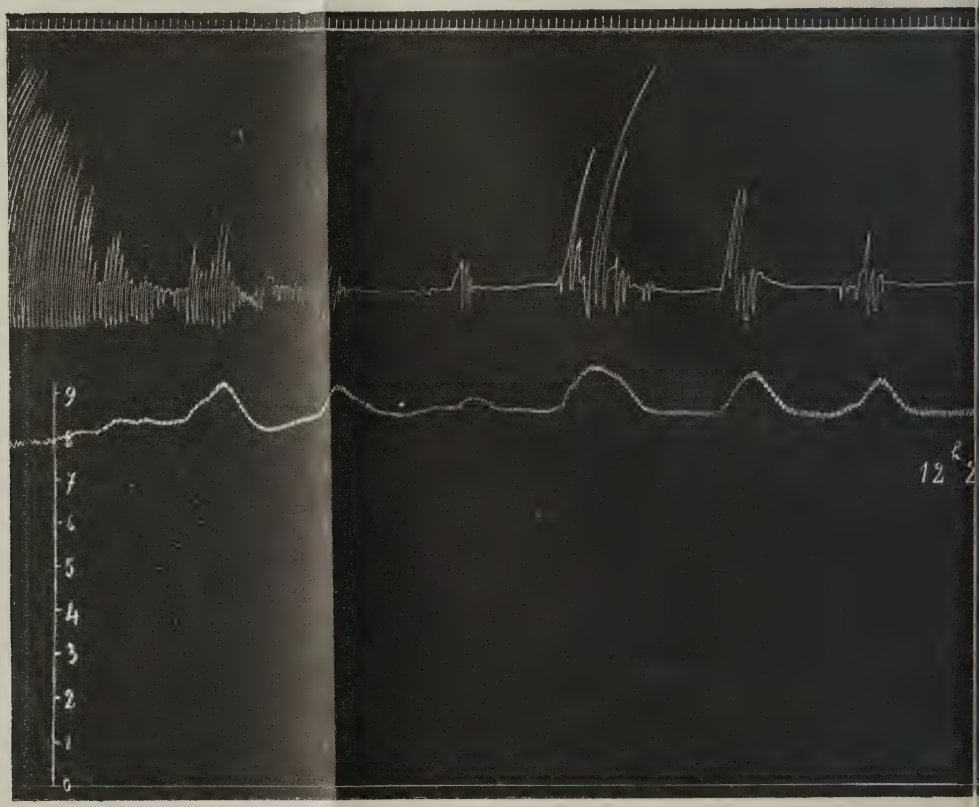
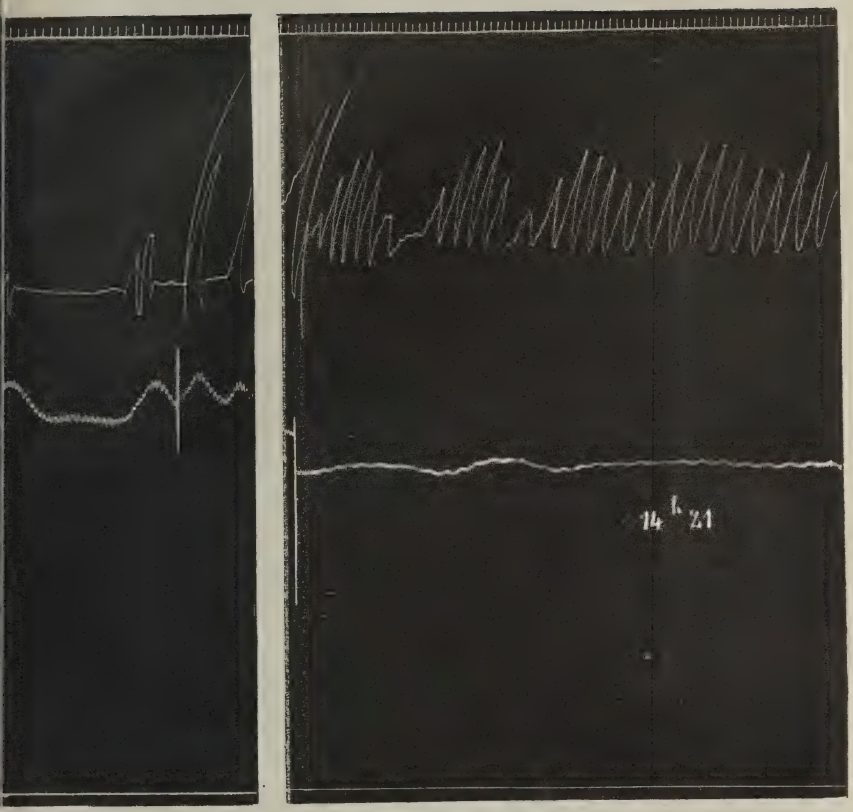


Fig. 1. — Chien de 5kgr5. Pneumographe de Knoll. Manomètre à mercure. Échelle manométri
25 m., de propeptone dans l'intestin.

Au moment où commence l'inscription, l'animal, jusqu'alors tranquille et respirant normalemer
d'accès passagers d'agitation avec mouvements respiratoires et aboiements. Dans la seconde
respiration, très nettement périodique d'abord, tend rapidement à s'uniformiser.



en centimètres. Horloge à secondes. A lire de gauche à droite. Injection, à 12 h.

t pris d'un long accès de violente agitation, auquel succède une accalmie entrecoupée
e de la figure, l'animal, en partie calmé, sort également d'un accès d'agitation. Sa

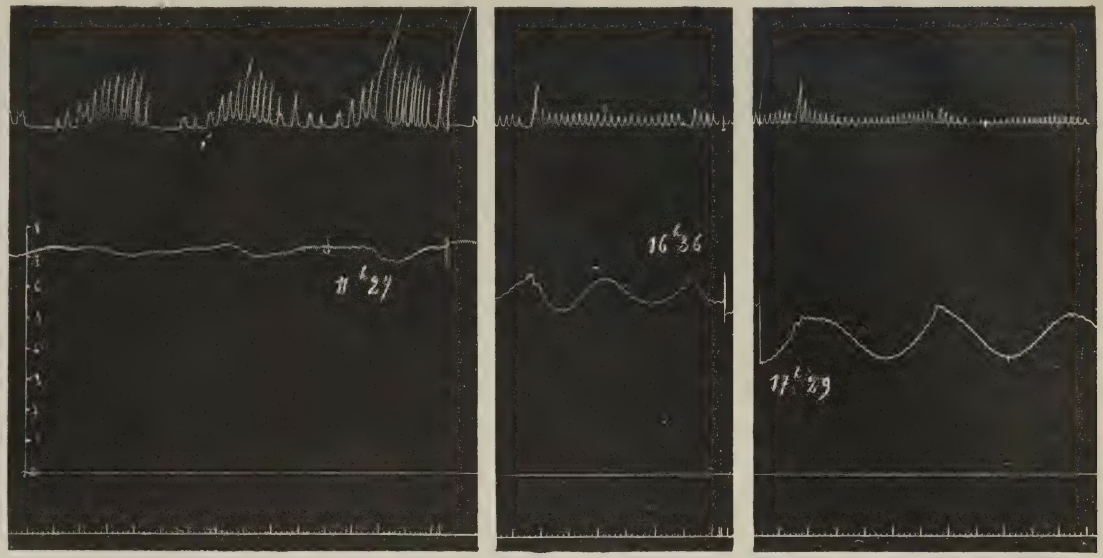


Fig. 2. — Chien de 3kgr5. Pneumographe de Knoll. Manomètre à mercure. Horloge à secondes. A lire de gauche à droite.

Injection, dans le péritoine, à 11 h. 38 m., de 75 centimètres cubes de solution à 10 % de peptone de Witte.

A mesure des progrès de l'intoxication propeptonée, les périodes respiratoires se régularisent et perdent leur caractère convulsif, tandis que les courbes de la pression artérielle deviennent plus amples. Elles sont à ce moment d'origine vaso-motrice exclusive. Au début de l'expérience interviennent des facteurs mécaniques et des variations du tonus des pneumogastriques.

affectent une régularité et une amplitude de plus en plus forte à mesure que tombe la pression artérielle. C'est ce que fait voir très nettement la figure 2.

En résumé donc, il peut se produire, à la suite d'excitations sensorielles, sensitives ou douloureuses chez le chien non morphiné (ou insuffisamment morphiné), des phénomènes d'excitation motrice, s'accompagnant de dyspnée et de cris. Cette agitation se présente avec des recrudescences plus ou moins régulièrement périodiques. Dans les intervalles de calme musculaire, la respiration peut conserver le rythme périodique contracté pendant l'agitation. Ce rythme, assez régulier et fugace d'abord, se régularisera et sera d'autant plus persistant que l'animal se sera agité davantage.

Aux périodes respiratoires correspondent des courbes de troisième ordre de la pression sanguine, de nature très complexe chez le chien non propeptoné.

La propeptone, en diminuant le tonus vasculaire périphérique, en supprimant le tonus du pneumogastrique et en calmant l'animal, tend à faire prédominer l'action des vaso-moteurs et à rendre plus régulières et plus amples les courbes de la pression artérielle.

De l'absorption intestinale de la propeptone chez le chien (deuxième partie); par le Dr P. Nolf.

Dans la première partie de ce travail, j'ai exposé les modifications que l'on peut constater du côté de la pression sanguine, de la coagulabilité du sang, du nombre des leucocytes chez des chiens dans l'intestin desquels on a introduit de grandes quantités de propeptone en solution neutre, alcaline ou acide.

Comme la résorption dans l'intestin est précédée d'une transformation au moins partielle de la propeptone introduite, d'une hydrolyse poussée jusqu'aux produits cristalloïdes, il est de toute nécessité, avant de rien conclure des essais précédents, de voir ce qui se passe lorsqu'on introduit directement dans l'intestin les produits mêmes de cette hydrolyse, obtenus par une digestion pancréatique *in vitro*.

C'est ce qui sera fait dans le présent article.

Avant de passer au détail des expériences, il est utile de dire deux mots des liquides employés. Les premiers essais furent faits au moyen d'un liquide d'autodigestion de pancréas de bœuf en eau distillée saturée de chloroforme.

L'autodigestion fut continuée pendant sept mois à la température de 37°. Le liquide filtré à ce moment était franchement acide. Il fournit après ébullition un très léger coagulum. Après filtration, il donna les réactions suivantes :

1° Ferrocyanure de potassium en solution acétique : pas de précipité;

2° Biuret négatif;

3° Acide picrocitrique : pas de précipité;

4° Tanin en solution acétique : précipité floconneux assez abondant, se redissolvant assez difficilement dans un excès de réactif;

5° Iodhydrargyrate de potassium en solution chlorhydrique : précipité dans la solution concentrée; pas de précipité après dilution;

6° Chlorure ferrique en solution faiblement acide (acide acétique) : précipité floconneux.

Étant donnés ces caractères, on pouvait admettre que

la digestion pancréatique avait été poussée assez loin pour détruire toute albumose et peptone. Le manque de biuret était dû à l'absence de ces substances et non à une action empêchante possible des produits cristalloïdes, comme le prouvaient les essais faits après adjonction de très faibles quantités de propeptone au liquide. Il suffisait d'ajouter une goutte d'une solution à 10 % à 5 centimètres cubes du liquide pour faire apparaître un biuret, qui sans être très franc, était cependant suffisamment net.

Ce liquide sera désigné sous le nom de liquide A.

Au point de vue de la teneur de ce liquide, concentré au bain-marie, en substances dissoutes, une détermination de l'extrait sec donna pour 10 centimètres cubes un résidu de 1gr2184. Une détermination (faite en double, comme toutes celles dont il sera fait mention dans ce travail) d'azote, par le procédé de Kjeldahl, donna pour 10 centimètres cubes 0gr1813 d'azote. En multipliant ce chiffre par 6.25, on obtient, exprimé en poids de propeptone correspondant, la masse des substances provenant de la protéolyse contenue dans le liquide, soit 1gr113 par 10 centimètres cubes.

Ma provision de liquide A ayant été épuisée, je fis quelques expériences avec un liquide B, qui me fut obligeamment cédé par M. Plumier, préparé de la même manière, mais avec une durée d'autodigestion plus courte (quatre semaines); 10 centimètres cubes contenaient 0gr909 de produits cristalloïdes.

Les réactions instituées comme pour A donnèrent un résultat identique pour toutes, excepté le 3°, qui fournit un très léger précipité. Si, au début de cet exposé, je fais mention de l'origine différente des deux liquides, c'est qu'ils se montrèrent dissemblables en un point de leur action sur l'organisme du chien.

Les deux solutions furent conservées dans des flacons bouchés après stérilisation à 120°.

Il fut fait trois séries principales d'expériences. Elles seront exposées dans l'ordre suivant : 1° des expériences d'absorption intestinale; 2° des expériences d'injection intraveineuse rapide; 3° des expériences d'injection intraveineuse lente.

Absorption intestinale des produits cristalloïdes (1).

Ces expériences furent faites suivant la technique opératoire employée pour l'étude de l'absorption de la propeptone. Dans la première, on omit de déterminer la quantité de substances cristalloïdes non absorbées.

Cette recherche fut, au contraire, l'objet principal des autres.

J'avais grand intérêt à savoir de la façon la plus exacte la vitesse avec laquelle l'intestin absorbe les produits cristalloïdes. Aussi fut-il mis plus de soin à cette détermination qu'à l'évaluation, faite dans les recherches précédentes, de la vitesse d'absorption de la propeptone.

Le procédé employé consista à doser, par la méthode

---

(1) Dans le cours de ce travail, je désignerai sous le nom générique de produits cristalloïdes l'ensemble des substances dissoutes dans un liquide d'autodigestion du pancréas, qui ne donne plus le biuret. J'emploie cette dénomination, qui est défectueuse, parce qu'elle fut employée par les auteurs qui se sont occupés dans ces dernières années de recherches similaires. En réalité, il est probable que la partie active du milieu complexe, désigné ainsi, est justement constituée par une ou des substances de nature colloïdale. (Voir plus loin.)

de Kjeldahl, l'azote existant à l'état dissous après coagulation par la chaleur dans le liquide intestinal à la fin de l'expérience. En soustrayant ce chiffre du poids d'azote introduit sous forme de produits cristalloïdes, on obtenait une quantité d'azote qui, multipliée par le facteur 6.25, fournissait approximativement le poids des produits cristalloïdes absorbés.

Quand l'expérience était terminée, on vidait rapidement l'intestin par expression et on notait le volume de liquide recueilli. L'intestin était ensuite lavé et les produits de lavage mélangés au liquide primitivement retiré. Le dosage d'azote se faisait dans une fraction de la solution globale, après filtration, coagulation par la chaleur en solution très faiblement acidulée.

La méthode n'est pas rigoureusement exacte. Il existe deux causes d'erreur principales :

1° Pendant l'expérience, il se produit très probablement une sécrétion de bile, de suc pancréatique, de suc intestinal. Une partie de ces sucs s'absorbe ultérieurement, une autre reste mélangée au liquide de digestion ;

2° Même après un jeûne de deux jours, l'intestin du chien contient assez souvent dans sa partie terminale des résidus de digestions antérieures, qui se mélangent à la solution retirée après l'expérience. A vrai dire, l'azote qui est contenu dans ces résidus solides y est en majeure partie sous une forme insoluble. On s'en débarrasse donc par filtration.

D'ailleurs ces quantités sont forcément très faibles en comparaison de celles très notables qui furent introduites au cours des expériences, et il est très probable qu'elles n'en altèrent pas sensiblement les résultats. L'erreur qui pourrait résulter de ce double fait, serait de nature

à faire attribuer une valeur trop petite à la quantité absorbée.

Comme on le verra, il se produisit dans trois des expériences de la diarrhée. Les liquides évacués furent recueillis, par inclinaison de la gouttière et lavage ultérieur copieux de celle-ci à l'eau distillée, d'une façon absolument quantitative, et mélangés au liquide retiré de l'intestin. De sorte qu'il fut encore possible, malgré ces conditions défavorables, de savoir quelle quantité de produits cristalloïdes avait été absorbée. Peut-être dans ces dernières expériences, l'erreur provenant de la sécrétion des sucs digestifs fut-elle plus considérable en raison du flux intestinal. Elle serait de nature, je le répète, à faire attribuer à la quantité de produits cristalloïdes absorbée, des valeurs trop faibles, de sorte que les chiffres, qui seront indiqués plus loin, représentent des *minima*.

EXPÉRIENCE I.

Chien de 5^{kgr}5.

A 8 h. 50 m., prise de sang, coagulé à 8 h. 57 m.; 10,500 leucocytes. Pression artérielle : 16^{cm}4.

De 8 h. 51 m. à 9 heures, injection dans l'intestin de 100 centimètres cubes de liquide A; de 9 h. 1 m. à 10 h. 14 m., idem; de 10 h. 14 m. à 11 h. 37 m , idem; de 11 h. 37 m. à 12 h. 52 m., idem; de 12 h. 52 m. à 14 h. 15 m., idem.

A 9 h. 56 m., prise de sang, coagulé à 9 h. 58 $^1/_2$ m.; 11,700 leucocytes. Pression artérielle : 14^{cm}8.

A 10 h. 56 m., prise de sang, coagulé à 11 heures ; 21,300 leucocytes. Pression artérielle : 14^{cm}8.

A 11 h. 56 m., prise de sang, coagulé à 11 h. 58 m.; 24,800 leucocytes. Pression artérielle : 13^{cm}6.

A 12 h. 50 m., pression artérielle : 12cm5.

A 14 h. 42 m., prise de sang, coagulé à 14 h. 43 m.; 40,800 leucocytes. Pression artérielle : 14cm7.

A 14 h. 47 m., injection, en sept secondes, de 0gr165 de peptone dissous dans 20 centimètres cubes de liquide physiologique. La pression tombe à 5cm3 en trois minutes.

A 14 h. 52 m., prise de sang qui donne un léger caillot pariétal le soir, pas encore complet le lendemain ; 6,500 leucocytes.

Après la mort, on retire de l'intestin 175 centimètres cubes de liquide muco-bilieux.

EXPÉRIENCE II.

Chien de 5 kilogrammes.

A 11 h. 5 m., prise de sang, coagulé à 11 h. 11 1/2 m. Pression artérielle : 16cm2.

De 15 h. 13 m. à 16 h 5 m., injection dans l'intestin de 100 centimètres cubes de liquide B; de 16 h. 5 m. à 16 h. 52 m., idem; de 16 h. 52 m. à 17 h. 25 m., 50 centimètres cubes.

A 15 h. 25 m., pression artérielle : 17cm2; à 15 h. 45 m., 16cm6; à 16 h. 5 m., 16cm4; à 17 h. 8 m., 15cm4; à 18 h. 12 m., 14cm8; à 18 h. 21 m., 15cm1.

A 18 h. 13 m., prise de sang, coagulé à 18 h. 20 m.

A 18 h. 22 m., injection, en six secondes, dans la jugulaire de 0gr15 de peptone de Witte dissous dans 20 centimètres cubes de liquide physiologique. La pression artérielle tombe, après trente secondes, à 5 centimètres, pour se relever rapidement; à 18 h. 25 m., elle est de 14cm6.

A 18 h. 29 m., prise de sang. Après une demi-heure, il s'est produit un caillot pariétal très faible, qui n'augmente pas sensiblement dans les vingt-quatre heures.

On tue l'animal. L'intestin contient 170 centimètres cubes de liquide. On trouve dans ce liquide réuni aux eaux de lavage une

quantité d'azote qui, multipliée par le facteur 6.25, équivaut à 5gr347 de produits cristalloïdes. Si on les suppose dissous dans 170 centimètres cubes, on a une concentration de 3.15 °/o. Le liquide injecté (250 centimètres cubes) contenait 22gr727 de produits cristalloïdes, avec une concentration de 9.09 °/o. L'absorption a porté sur 17gr38, soit 1.07 par kilogramme-heure.

Dans les expériences III, IV et V, il s'est produit de nombreuses évacuations alvines, liquides. Les chiffres se rapportant à la pression sanguine, au nombre des leucocytes, ont probablement été influencés par cet état et ne seront pas donnés. Chez ces trois animaux, il semble que ce soit surtout la pression artérielle qui ait subi l'influence de la diarrhée ; elle était fortement déprimée.

Il sera fait mention seulement de la quantité de produits cristalloïdes absorbés et de l'immunité propeptonique.

EXPÉRIENCE III.

Jeune chien de 4 kilogrammes.

Administration, en deux heures trente minutes, de 360 centimètres cubes de liquide A, contenant 40gr792 de produits cristalloïdes.

Avant l'injection, le sang coagulait en cinq minutes et demie.

Après six heures vingt minutes, il coagule en une minute. A ce moment, il n'existe aucune immunité à l'injection intraveineuse brusque de 0gr03 de peptone par kilogramme.

Après la mort, on trouve dans l'intestin 20 centimètres cubes de liquide. L'azote global contenu dans cette fraction et dans les selles liquides successivement évacuées équivaut à 11gr668 de produits cristalloïdes. Il en a donc été absorbé 29gr124 en six heures vingt-cinq minutes, soit 1gr13 par kilogramme-heure.

EXPÉRIENCE IV.

Chien de $4^{kgr}5$.

Injection dans l'intestin, en une heure cinquante-trois minutes, de 250 centimètres cubes de liquide B, contenant $22^{gr}727$ de produits cristalloïdes.

Avant l'injection, le sang coagulait en sept minutes ; en trois minutes et demie, deux heures et demie après. A ce moment, pas d'immunité à l'injection intraveineuse brusque de $0^{gr}03$ de peptone de Witte par kilogramme.

On retire de l'intestin 170 centimètres cubes de liquide. L'azote global contenu dans cette fraction et dans le produit des évacuations correspond à $14^{gr}007$ de substances cristalloïdes. L'animal en a donc absorbé $8^{gr}72$ en deux heures quarante minutes, soit $0^{gr}726$ par kilogramme-heure.

EXPÉRIENCE V.

Jeune chien de $2^{kgr}5$.

Injection dans l'intestin, en deux heures, de 152 centimètres cubes de liquide A (un peu dilué) contenant $15^{gr}614$ de produits cristalloïdes.

Avant l'injection, le sang coagule en quatre minutes et demie; quatre heures quarante minutes après, en quatre minutes et demie.

A ce moment, immunité très faible à l'injection de $0^{gr}03$ de peptone de Witte par kilogramme (le sang coagule incomplètement en vingt-quatre heures).

Après la mort (quatre heures cinquante minutes après le début de l'injection), on retire de l'intestin 65 centimètres cubes de liquide. L'azote global contenu dans cette fraction réunie au produit des évacuations successives correspond à $7^{gr}381$ de substances cristalloïdes. Donc il a été absorbé en quatre heures cinquante minutes $8^{gr}233$, soit $0^{gr}68$ par kilogramme-heure.

Les résultats qui viennent d'être exposés présentent de grandes différences avec ceux qui furent obtenus après l'administration de la propeptone.

Il semble que la résorption des produits cristalloïdes par la muqueuse intestinale n'ait pas la moindre action spécifique ni sur la vitesse de coagulation du sang, ni sur l'état de résistance à l'injection intraveineuse de propeptone. Elle influence la pression sanguine d'une façon beaucoup moins intense que la propeptone.

Il résulte de cette confrontation que cette dernière substance a agi d'une manière spécifique et que c'est bien à son action propre et non aux conditions banales, créées par toute digestion intestinale, que sont dus plusieurs effets exposés plus haut. A ce point de vue, elles confirment les déductions de même genre que l'on est en droit de tirer des expériences d'absorption des liquides salins. Nous sommes actuellement en possession des éléments nécessaires pour décider de l'interprétation qu'il convient d'appliquer aux phénomènes.

Si l'on envisage d'abord les particularités de l'absorption des solutions propeptonées d'une part, de la solution de produits cristalloïdes de l'autre, on est de suite frappé par cette impression d'ensemble : la seconde est, à concentration égale, beaucoup moins bien tolérée par l'intestin que les premières.

De nos cinq chiens, un seul a supporté, sans diarrhée, l'administration intra-intestinale de 10 grammes de produits cristalloïdes par kilogramme. Une dose équivalente de peptone de Witte, administrée dans le même temps ou en un temps plus restreint, produit bien plus rarement cet effet.

Chose plus inattendue, la vitesse d'absorption semble,

pour autant que nos expériences permettent de conclure, plus faible pour les substances cristalloïdes que pour la propeptone. Nous sommes loin d'atteindre les vitesses de 3 grammes par kilogramme-heure. Il est certain que la diarrhée constitue un facteur contrariant, mais qui ne semble pas suffisant à lui seul pour expliquer l'absorption relativement lente des produits cristalloïdes. Si, avant d'être absorbée, la propeptone, administrée à nos premiers chiens, avait dû être clivée par l'action des sucs digestifs en produits cristalloïdes, on ne comprendrait pas pourquoi il ne s'est pas produit chez eux l'irritation intestinale, si fréquente, quand ces produits sont introduits tout préparés. De plus, on peut hardiment déclarer que les sucs intestinaux dont dispose un chien, sont insuffisants pour transformer en produits cristalloïdes les quantités considérables de propeptone (3 grammes par kilogramme-heure) qui disparurent chez certains animaux. D'ailleurs, le liquide retrouvé dans l'intestin donna toujours un biuret intense. Il est probable que la propeptone constituait la fraction la plus importante de la matière azotée qui s'y trouvait dissoute.

Ces premières considérations sur l'absorption comparée de la propeptone et des produits cristalloïdes nous conduisent déjà à l'idée que la première est rapidement absorbée telle quelle par l'épithélium intestinal et ne doit nullement être préalablement scindée en molécules plus petites.

Cette opinion découle d'ailleurs tout naturellement des observations d'un grand nombre d'auteurs, qui ont établi l'absorption de la propeptone dans des anses intestinales isolées, où la bile et le suc pancréatique n'avaient plus accès. (Voit et Bauer, Czerny et Latschenberger, Plumier, etc.)

Mais toute une série de particularités de mes expériences plaident dans le même sens. Il en sera reparlé plus loin.

Une constatation intéressante, bien constante dans les recherches d'absorption de propeptone (aussi bien dans celles où l'on évalua le reliquat intestinal au polarimètre que dans les trois expériences où le dosage de l'azote résiduel se fit au Kjeldahl), c'est que, bien que le liquide retrouvé fût constamment *moins abondant* que le liquide injecté, il était régulièrement *plus pauvre* en matière organique dissoute.

Si nous admettons, eu égard aux considérations citées plus haut, que la majeure partie de la substance azotée a été absorbée sous forme de propeptone, nous pouvons donc conclure que lors de l'absorption par l'épithélium intestinal d'une solution de propeptone de concentration variable (5 %, 10 %, 20 %), la propeptone pénètre dans les cellules épithéliales plus rapidement que l'eau. Le revêtement épithélial a plus d'affinité pour la propeptone que pour l'eau, du moins quand ces deux substances lui sont fournies en même temps; car lorsque l'eau est introduite dans l'intestin sous forme de solution saline, elle disparaît beaucoup plus vite. La propeptone ralentit considérablement la résorption de l'eau par l'épithélium intestinal, tout en étant résorbée rapidement elle-même. Ces circonstances tendent déjà à nous faire envisager le processus comme étant actif, dû à une intervention directe des cellules épithéliales dans l'acte d'absorption. Cependant, même avec les particularités indiquées jusqu'ici, on pourrait aussi le concevoir comme étant le résultat, l'expression d'une affinité physique ou chimique simple, plus forte pour la propeptone que pour l'eau. Cette

interprétation n'explique pas cependant pourquoi la résorption de l'eau est ralentie en présence de propeptone.

D'autre part, si l'on accordait qu'en dernière analyse l'intervention active se réduit à créer cette affinité spécifique, encore faudrait-il caractériser cette dernière, en disant d'elle qu'elle semble variable dans le temps.

Sans avoir fait d'étude spéciale de ce point, je crois pouvoir attirer l'attention sur le fait que dans la série la plus complète dont je dispose, celle où la propeptone fut administrée en solution alcaline, les valeurs les plus élevées, exprimant la vitesse d'absorption, ont été trouvées dans des expériences de durée relativement faible (III et VI). D'autre part, il a déjà été dit plus haut que l'état d'immunité propeptonique, observé après absorption intestinale de propeptone, est surtout marqué dans les premières heures (voir série propeptone neutre). Un autre effet dû à la résorption de la propeptone, la chute de pression artérielle, est souvent maximum au moment où l'intestin contient encore de grandes quantités de solution propeptonée. Il semble donc que l'on soit en droit d'émettre comme très probable l'opinion d'après laquelle la vitesse de résorption de la propeptone dans l'intestin du chien irait, dans une seule et même expérience, en diminuant du commencement à la fin. Et comme les modifications apportées dans l'organisme sont surtout locales, puisque, comme il sera montré plus loin, la grande masse du produit reste fixée dans la muqueuse intestinale, c'est donc à une modification locale qu'est dû ce ralentissement de la résorption. Il semble que l'épithélium ou la muqueuse se sature de propeptone et qu'à mesure des progrès de cette saturation, elle enlève le produit au milieu intestinal avec moins d'avidité.

Il eût été intéressant d'établir la même probabilité pour les produits cristalloïdes; malheureusement, le nombre moins considérable d'observations et la complication due à l'irritation de l'intestin rendent presque inutilisable à ce point de vue le matériel d'expériences exposé plus haut.

Cependant, on trouve également, à l'expérience II, dans l'intestin un liquide moins abondant que celui injecté et dont la teneur en azote s'est abaissée. D'ailleurs, si dans les expériences IV et V on suppose tout l'azote non résorbé (provenant du mélange du liquide évacué et du liquide retrouvé dans l'intestin) dissous dans cette dernière fraction, on obtient encore pour celle-ci une concentration inférieure (IV) ou égale (V) à celle du liquide injecté, ce qui prouve que dans le liquide retiré de l'intestin, la concentration était beaucoup plus faible. Encore ici, comme pour la propeptone, la disparition de la substance azotée est plus rapide que celle de l'eau. Et comme ni dans l'expérience I ni dans II, et suivant toute probabilité aussi dans III, IV, V (où la mesure ne put être faite exactement), le volume du liquide non résorbé ne fut trouvé supérieur au volume introduit dans l'intestin, ce n'est pas à une dilution du liquide administré, mais à une résorption plus rapide des substances cristalloïdes que de l'eau qu'il faut attribuer ce phénomène.

Nous pouvons donc conclure que *l'épithélium intestinal est doué, vis-à-vis de la propeptone et des produits cristalloïdes qui en dérivent, d'une affinité spéciale qui lui permet d'enlever ces substances aux milieux aqueux qui les contiennent, sans absorption équivalente d'eau.*

Si l'on envisage maintenant les modifications que la

résorption des différents liquides provoqua du côté du sang et de la circulation, de façon à leur donner l'interprétation qui leur convient, voici les conclusions auxquelles on aboutit :

Rien de très net, comme il a déjà été dit, du côté de la coagulation du sang. De par les conditions de la vivisection, celle-ci a une tendance à se faire plus rapidement. Les solutions neutres et alcalines de propeptone, bien plus que la solution chlorhydrique de ce produit ou la solution neutre des produits cristalloïdes, renforcent cette action.

L'immunité propeptonique faible (dose de $0^{gr}03$) peut être produite assez facilement par la propeptone neutre, à condition de la chercher suffisamment tôt; une seule fois, on obtint l'immunité complète à la dose de $0^{gr}20$ (l'expérience VII de la série : propeptone alcaline). Après administration de propeptone acide, les résultats sont d'une interprétation difficile en raison de l'action perturbatrice de l'acide. Les substances cristalloïdes dans aucun cas (même dans l'expérience IV, de durée relativement courte) n'ont produit par elles-mêmes la moindre trace d'immunité. On est donc parfaitement en droit de considérer l'augmentation de résistance à l'injection intraveineuse de propeptone consécutive à l'administration intestinale de doses suffisantes de ce produit en milieu neutre ou alcalin, comme étant causée par la résorption de la propeptone et par le passage d'une fraction de celle-ci dans la circulation. L'expérience VII ne laisse aucun doute à ce sujet.

Enfin reste à voir la signification qu'il faut donner à la chute de pression artérielle si constante et parfois si

considérable qui se produit pendant l'absorption de la propeptone neutre et alcaline.

Dans une première série de recherches, Pavlow (1) avait démontré que l'administration au chien d'un repas consistant en pain ou en viande, n'arrive pas à déprimer la pression artérielle de plus de 1 centimètre. La dépression commençait à s'établir après vingt à trente minutes. Pavlow attribuait cette chute à la sécrétion des liquides digestifs et à la congestion de l'appareil gastro-intestinal. Si la pression ne tombait pas plus bas, c'est, d'après le physiologiste russe, qu'une constriction des vaisseaux cutanés faisait équilibre à la distension du réseau abdominal.

Les résultats de Pavlow s'appliquent évidemment à des conditions plus normales que celles dans lesquelles je me suis placé. On sait, par les expériences de Schmidt-Mühlheim (2), confirmées par de nombreux physiologistes, que l'estomac du chien nourri de viande se vide lentement dans l'intestin. En aucun moment de la digestion, l'intestin ne contient de grandes quantités de liquide. Au contraire, dans mes expériences, le volume de liquide introduit était à la limite de la tolérance. Il est donc probable que, dans ces conditions, l'absorption est beaucoup plus active, étendue à une surface bien plus considérable que la digestion normale. De ce chef, la dilatation du réseau abdominal est plus marquée et est moins

---

(1) Pavlow, *Experimenteller Beitrag zum Nachweis des Accommodationsmechanismus der Blutgefässe.* (Archiv für die gesammte Physiologie, XVI, 266, 1878.)

(2) Schmidt-Mühlheim, *Untersuchungen über die Verdauung der Eiweisskörper.* (Archiv für Anat. u. Phys., Physiol. Abt., 1879, 39.)

bien compensée par les mécanismes régulateurs (1). Il peut en résulter une chute de la pression artérielle dépassant 1 centimètre de mercure.

D'ailleurs, Pavlow (2) lui-même put produire dans des expériences ultérieures des chutes de 2 centimètres de mercure en faisant boire à ses chiens de grandes quantités de bouillon de viande ($^1/_{19}$-$^1/_8$ du poids du corps). Ici encore la pression resta normale pendant la première demi-heure, atteignit un minimum après deux heures environ et s'y maintint pendant longtemps.

Il se peut que dans ces conditions aussi la chute soit due à la dilatation fonctionnelle des vaisseaux de l'intestin, mais cependant le phénomène paraît plus complexe. Pour l'analyser, il est nécessaire de savoir s'il dépend de la nature chimique des liquides introduits dans l'intestin. Nos expériences sur l'absorption intestinale des liquides salins peuvent nous renseigner sur ce point. Régulièrement, on observe peu de temps après l'introduction du liquide salin une hausse sensible de la pression artérielle avec retour ultérieur au niveau normal. Comme il a été dit, à cette hausse artérielle correspond d'habitude une hypoleucocytose.

Les deux phénomènes s'expliquent naturellement par l'augmentation considérable de la masse du sang, due à la résorption du liquide salin. S'il se produit une dilata-

---

(1) D'après Pavlow, un de ces mécanismes régulateurs est la constriction des vaisseaux cutanés. Dans mes expériences, j'ai pu constater d'une façon constante, dès que la chute de pression artérielle devenait notable, une tachycardie très marquée.

(2) Pavlow, *Ueber die normale Blutdruckschwankungen beim Hunde.* (Archiv für die gesammte Physiologie, XX, 215, 1879.)

tion du réseau intestinal, les effets en sont donc contrebalancés, dans ces expériences, par l'accroissement important de la masse du sang. L'introduction et l'absorption de grandes quantités de liquide dans l'intestin ne sont donc pas suffisantes à elles seules pour produire la chute de pression artérielle. Il faut, en outre, que ces liquides possèdent une composition chimique déterminée.

A priori, il semble que ceux-là surtout tendront à produire une vaso-dilatation du réseau intestinal, dont l'absorption s'accompagnera d'une activité fonctionnelle de l'épithélium intestinal. Un organe qui travaille, se congestionne. C'est une loi générale, à laquelle l'intestin ne fait certainement pas exception. Si l'on peut discuter sur la question de savoir si l'absorption d'un liquide salin nécessite un véritable travail de l'intestin, on accordera plus facilement (et ce sera démontré plus loin) que la muqueuse intestinale joue un rôle actif lors de l'absorption des albumoses et des produits cristalloïdes.

Il y a donc vaso-dilatation de l'intestin pendant cette absorption. Il reste à savoir si cette vaso-dilatation fonctionnelle est la cause unique de la chute de pression observée dans mes expériences. Le résultat des expériences d'absorption de propeptone chlorhydrique ne permet pas d'autre réponse qu'une négation. Certes, la muqueuse intestinale est tout aussi active (et peut-être l'est-elle davantage) quand elle absorbe de la propeptone chlorhydrique que lorsque ce même produit lui est fourni en solution neutre ou alcaline. Et cependant, dans le premier cas (comme le démontrent les expériences II, III, IV), la chute de pression artérielle que l'on observe est faible et, chose aussi importante, elle atteint plus rapidement son point le plus déclive. La pression est

minima après quinze minutes dans l'expérience III (10 grammes par kilogramme administrés en une heure cinq minutes), après une heure dans II (10 grammes par kilogramme en trente minutes). A partir d'alors, elle remonte ou reste stationnaire. Tel n'est pas le cas lorsque la propeptone est fournie en solution neutre ou alcaline.

Ainsi, dans l'expérience IX de la série propeptone alcaline (10 grammes par kilogramme administrés en quarante-cinq minutes), la pression descend toujours après cinq heures. Les autres se prêtent moins bien à la comparaison en raison de la différence des doses ou de la plus grande lenteur de l'injection. Mais il suffit d'étudier les protocoles en détail pour se convaincre rapidement de la grande différence d'évolution des tracés manométriques. Même pour des doses d'un tiers et d'un demi-gramme de peptone de Witte par kilogramme, administrées rapidement, le minimum de pression n'est d'habitude atteint qu'après une heure et demie, quelquefois beaucoup plus tard.

En résumé donc, chute faible et s'arrêtant tôt lors de la résorption de la propeptone chlorhydrique, forte et prolongée pour la propeptone neutre ou alcaline.

Dans une expérience témoin, où il fut introduit, en trois heures dix minutes, dans l'intestin d'un chien de $2^{kgr}5$, une émulsion contenant 9 % d'huile d'olive et 1 % d'oléate de soude à raison de 100 centimètres cubes par kilogramme, on produisit une chute de pression artérielle de $17^{cm}6$ à 14 centimètres en quinze minutes, avec relèvement ultérieur jusque $17^{cm}2$. A la fin de l'expérience, qui dura six heures, l'intestin renfermait 50 centimètres cubes d'une bouillie grasse, dont l'extrait éthéré (en milieu acide) pesait 15 grammes.

L'évolution du tracé manométrique dans cette expérience est donc analogue à celle des tracés fournis par l'absorption de la propeptone chlorhydrique. Dans les deux cas, il existe une activité fonctionnelle de la muqueuse intestinale. Il est donc probable que la chute de pression faible (ou modérée) et hâtive que l'on observe de part et d'autre sont caractéristiques de cet état, quand il s'étend à une étendue suffisante de l'intestin.

Ce facteur peut intervenir après administration de la propeptone neutre ou alcaline, mais la chute de pression tardive et plus considérable qu'elle produit reconnaît une autre cause. Et cette autre cause, c'est, pour le dire de suite, l'action directe de la propeptone sur la paroi des vaisseaux.

Les expériences d'injection de propeptone dans le péritoine (1) montrent que la pénétration lente de quantités relativement faibles de ce produit ($0^{gr}25$ à $0^{gr}30$ par kilogramme-heure) dans la circulation produit facilement une dépression très accentuée de la pression artérielle et l'immunité à l'injection intraveineuse brusque de $0^{gr}20$. Or, cet état est réalisé complètement chez le chien VII de la série propeptone alcaline. L'analogie est tellement complète qu'elle s'impose comme identité; et il faut admettre que chez cet animal l'épithélium intestinal a laissé passer suffisamment de propeptone pour que cette dernière exerçât sur la paroi vasculaire et les élé-

---

(1) P. Nolf, *De l'absorption péritonéale de la propeptone chez le chien*. (Bull. de l'Acad. roy. de Belgique [Classe des sciences], 1903, n° 12 pp. 1129-1148.)

ments du sang une action aussi profonde qu'après une injection intrapéritonéale. A vrai dire, ce résultat est unique, mais il est suffisant pour éclairer les autres, qui n'en sont que l'image affaiblie.

Ce chien a absorbé $2^{gr}1$ par kilogramme-heure. Si nous admettons que la dose $0^{gr}25$ par kilogramme-heure est nécessaire pour produire l'immunité propeptonique, nous arrivons à la conclusion que la huitième partie environ de la propeptone disparue de l'intestin est passée dans le sang.

Cette proportion très élevée est probablement réalisée très rarement : c'est ce qui explique le résultat moins net des autres expériences. Mais la chute si constante de la pression artérielle, quand la dose administrée par l'intestin atteint et dépasse 3 grammes par kilogramme, prouve que régulièrement une partie de la propeptone absorbée dans l'intestin pénètre dans la circulation générale.

Une première conclusion à cette discussion est donc celle-ci :

Quand on introduit des solutions neutres ou alcalines de propeptone (de 5, 10, 20 %) dans l'intestin du chien, de façon à administrer au moins 3 grammes de ce produit par kilogramme d'animal, une partie de la propeptone disparue de la cavité intestinale, qui dépasse d'habitude les $^7/_8$, est fixée par la muqueuse intestinale, une partie, qui d'habitude est inférieure au $^1/_8$, pénètre dans la circulation générale.

En est-il de même quand la propeptone est introduite dans l'intestin en milieu chlorhydrique? Nous avons tout lieu d'admettre, étant données la grande tolérance de

l'intestin pour ce liquide, comparée à l'intolérance pour les produits cristalloïdes, et l'absorption très forte et très rapide qui se manifeste dans certaines expériences (expérience IV), que dans ce cas encore, malgré une sécrétion probablement plus forte des sucs digestifs, la grande masse de la substance protéique est absorbée à l'état de propeptone, avant que les ferments protéolytiques l'aient altérée profondément. Je crois donc pouvoir dire qu'introduite en solution chlorhydrique dans l'intestin du chien, la propeptone est rapidement absorbée par les cellules de l'épithélium. Mais la méthode que j'ai employée ne permet pas de la poursuivre plus loin. L'immunité propeptonique faible que l'on constate le plus souvent chez ces animaux n'a pas la signification qu'elle possédait dans les expériences précédentes, elle peut être causée par l'acidité du liquide introduit dans l'intestin.

D'autre part, la pression artérielle ne présente pas la chute caractéristique de l'introduction de la propeptone dans les vaisseaux. L'absence de ce signe peut être due à ce que la propeptone acide, bien que pénétrant dans la circulation, ne produise pas sur la paroi vasculaire l'effet paralysant de la propeptone alcaline, tout comme injectée dans le sang (Spiro et Ellinger) elle n'agit pas sur la coagulation. Cette explication, qui est la plus simple, manque jusqu'ici de toute base expérimentale.

Il me paraît d'ailleurs plus probable que la cause de ce fait très intéressant est autre ; et je serais disposé *a priori* à admettre l'hypothèse que l'acide chlorhydrique ajouté à une solution de propeptone, établisse entre celle-ci et l'épithélium intestinal des rapports différents, tout au

moins en quantité, de ceux qui existent quand le milieu intestinal est alcalin. Cette opinion est susceptible de contrôle expérimental, et je me propose de l'étudier prochainement. Dans cette hypothèse, la propeptone absorbée en milieu chlorhydrique serait retenue fortement par l'épithélium intestinal, subirait à l'intérieur de celui-ci de rapides modifications et ne passerait pas dans le sang.

Il reste à voir l'interprétation qu'il convient de donner aux phénomènes consécutifs à l'absorption intestinale des produits cristalloïdes. Il a été dit plus haut qu'elle semble ne pas agir ni sur la durée de coagulation du sang, ni sur l'état de résistance à l'injection intraveineuse de propeptone. Au contraire, dans les deux expériences où aucune diarrhée ne se produisit (I et II), il y eut néanmoins une chute de pression tardive et modérée, avec tendance finale à la hausse dans l'expérience I. C'est-à-dire que l'évolution est analogue à celle que l'on constate après absorption de propeptone neutre ou alcaline, avec moins de netteté dans les modifications. On verra plus loin qu'injectés très lentement dans les veines, les produits cristalloïdes ne créent pas l'immunité propeptonique, mais dépriment très profondément la pression artérielle. Il est donc possible que la légère inflexion de la ligne manométrique pendant l'absorption intestinale de ces produits soit la conséquence d'une pénétration très limitée dans la circulation.

Pour traiter ce point en connaissance de cause, il faut savoir quelles sont les conséquences de l'injection intraveineuse des produits cristalloïdes chez le chien.

Je commencerai par exposer les résultats de l'injection rapide.

Injection intraveineuse rapide des produits cristalloïdes.

EXPÉRIENCE I.

Chien de $2^{kgr}5$, à jeun depuis quarante-huit heures.

Pression carotidienne : $17^{cm}2$. Le sang coagule en cinq minutes; il contient 6,900 leucocytes par centimètre cube.

Injection dans la jugulaire, en sept secondes, de 17 centimètres cubes du liquide A, contenant $1^{gr}926$ de produits cristalloïdes. L'animal est pris immédiatement de convulsions violentes. La pression tombe, en moins de vingt secondes, à $3^{cm}6$ environ. L'animal meurt immédiatement (en moins de cinq minutes) par arrêt du cœur, malgré la respiration artificielle.

Un échantillon de sang prélevé au moment de la mort n'a pas coagulé après vingt-quatre heures; il donne, après quarante-huit heures, un caillot limité à la couche des globules; il contient 1,550 leucocytes.

EXPÉRIENCE II.

Chien de 5 kilogrammes, à jeun depuis quarante-huit heures.

Pression carotidienne : $18^{cm}3$. Le sang coagule en dix-sept minutes et contient 6,800 leucocytes.

On fait des mélanges en différentes concentrations *in vitro* du liquide A avec du sang. A cet effet, on introduit dans de petites éprouvettes de 5 centimètres cubes des quantités croissantes du liquide A. Les éprouvettes sont rapidement remplies, jusqu'au trait de jauge supérieur, de sang prélevé à une carotide; retournées deux trois fois, après avoir été bouchées par le pouce, et vidées de leur contenu dans des tubes à réaction dans lesquels se fait la coagulation.

Mélange de $0^{cc}25$ de liquide A et de $4^{cc}75$ de sang, coagulé après une heure.

Mélange de $0^{cc}50$ de liquide A et de $4^{cc}5$ de sang, coagulé après quatre heures vingt minutes.

Mélange de 1 centimètre cube de liquide A et de 4 centimètres cubes de sang, fluide après vingt-quatre heures, sauf un mince filament pariétal.

Injection dans la jugulaire, en trente-deux secondes, de 60 centimètres cubes de liquide d'autodigestion pancréatique contenant $6^{gr}8$ de produits cristalloïdes.

Violente agitation et miction. La pression artérielle tombe immédiatement et la mort survient, par arrêt du cœur et malgré la respiration artificielle, en moins de deux à trois minutes.

On ouvre la poitrine et l'on recueille (vingt-six minutes après le début de l'injection) un échantillon du sang du cœur, qui reste fluide pendant plus de vingt-quatre heures et contient 1,900 leucocytes par millimètre cube.

EXPÉRIENCE III.

Jeune chien de $3^{kgr}5$, à jeun depuis vingt-quatre heures.

Pression artérielle : $14^{cm}2$. Le sang coagule en deux minutes et contient 7,000 leucocytes par millimètre cube.

Injection dans la jugulaire, en quinze secondes, de 15 centimètres cubes de liquide A mélangés à 15 centimètres cubes de sérum artificiel ($1^{gr}7$ de produits cristalloïdes).

La pression artérielle tombe à 8 centimètres après soixante-dix secondes, pour remonter à $15^{cm}4$ en trois minutes et présenter ensuite une chute secondaire à $13^{cm}8$ après sept minutes, $12^{cm}6$ après onze minutes.

Une prise de sang, faite six minutes après l'injection, donne, après une heure, un caillot pariétal qui s'est complété le lendemain matin ; 2,200 leucocytes par millimètre cube.

Le seul auteur qui ait fait des injections intraveineuses de liquides provenant d'autodigestions pancréatiques, Loewi (1), dit que, même en injection lente et en faible quantité, ils produisent une forte chute de la pression artérielle chez le chien, le chat et le lapin. Loewi ne donne aucun détail sur la durée d'injection ni même sur la dose par kilogramme d'animal. Il ne parle pas de l'action sur la coagulation du sang.

Conradi (2) a étudié exclusivement l'action sur la coagulation des produits d'autolyse de différents organes. Il ne parle pas des liquides d'autodigestion pancréatique. Conradi a observé que mélangés au sang *in vitro*, tous les liquides qu'il a étudiés s'opposaient plus ou moins à la coagulation du sang. Injectés dans les veines, ils provoquaient pendant les premières minutes succédant à l'injection, une accélération de la coagulation, au bout d'un certain temps, un léger retard.

A première vue, le résultat d'une injection rapide et massive de liquide d'autodigestion pancréatique rappelle complètement ce que l'on obtient avec la propeptone dans les mêmes conditions : chute profonde de la pression, incoagulabilité du sang, hypoleucocytose.

L'analogie est tellement grande que ma première idée fut que l'effet observé était provoqué par de faibles quantités de propeptone ou de peptone. Et dominé par cette idée, je m'adressai au procédé de Siegfried, destiné à

---

(1) Loewi, *Ueber Eiweisssynthese im Thierkörper*. (Archiv f. allgem. Path. u. Pharm., XLVIII, 303, 1902.)

(2) Conradi, *Ueber die Beziehung der Autolyse zur Blutgerinnung*. (Beiträge zur chemischen Physiologie und Pathologie, I, 136, 1902.)

l'obtention de l'antipeptone, pour débarrasser mon liquide des traces de ces substances qu'il pouvait renfermer. Il sera parlé plus loin des résultats de ces recherches.

Mais déjà la simple étude comparative de la propeptone et de la solution de produits cristalloïdes dans leur action sur la coagulation, quand elles sont mélangées au sang *in vitro*, suffit à démontrer que les deux liquides ont des propriétés très différentes.

On sait, depuis Fano, que lorsque la propeptone est mélangée au sang *in vitro*, elle précipite la prise en caillot à des doses qui suspendent la coagulation dans les veines. Des concentrations beaucoup plus considérables de propeptone s'opposent aussi à la coagulation *in vitro*. J'ai pu m'assurer qu'une solution de propeptone de Witte à 10 %, mélangée au sang dans le rapport de 1 centimètre cube de solution pour 4 centimètres cubes de sang, allonge à peine le temps de coagulation. Le sang prend d'habitude en moins de quinze à vingt minutes.

Comme le montre l'expérience II, une dose équivalente de produits cristalloïdes est suffisante pour rendre le sang incoagulable pendant vingt-quatre heures.

Il faut dès lors se demander si c'est grâce à cette même action directe sur la coagulation qu'est due la fluidité persistante du sang recueilli après l'injection intraveineuse.

Dans l'expérience II, le chien pesait 5 kilogrammes. La masse du sang comportait environ (7 %) 350 centimètres cubes. Il lui fut injecté 60 centimètres cubes, ce qui correspond à 0cc68 de liquide pour 4 centimètres cubes de sang. Le sang recueilli ensuite resta fluide pendant vingt-quatre heures. D'après le résultat des mélanges

in vitro, cette dose n'eût pas été suffisante pour produire un résultat aussi complet hors de l'organisme. On pourrait être tenté de croire que les produits cristalloïdes exercent dans l'organisme une action anticoagulante par deux mécanismes différents : d'abord par action directe comme dans les expériences *in vitro*, ensuite par action indirecte à la façon de la propeptone.

C'est possible. Mais qu'on n'oublie pas cependant que les conditions matérielles du mélange du sang avec le liquide ne sont pas les mêmes suivant qu'il se fait dans les veines ou dans une éprouvette. Dans le premier cas, au moment où le mélange s'opère, le sang est au contact de la paroi vasculaire et n'a aucune tendance à se coaguler. Dans le second, le sang a subi le contact de la canule, de l'éprouvette, et la coagulation a déjà pu s'amorcer avant que le mélange ne soit rendu intime avec le liquide anticoagulant. Il peut résulter de ce fait une action anticoagulante un peu moins intense, quand le liquide pancréatique est ajouté *in vitro*.

Il sera reparlé de ce point au sujet du résultat de l'injection lente des produits cristalloïdes. Avant de passer à ce sujet, il me reste à dire quelques mots des essais de purification des produits cristalloïdes.

Je suivis scrupuleusement le procédé indiqué par Siegfried (1) pour l'obtention de l'antipeptone pure.

Le liquide A, après saturation de sulfate ammonique, donna un faible précipité brun floconneux (dont l'étude ultérieure démontra qu'il ne contenait pas d'albumoses).

---

(1) Siegfried, *Ueber Antipepton. II. Mittheilung.* (Zeitschrift für physiologische Chemie, XXXV, 164, 1902.)

Le filtrat ne se troubla ni en milieu acide (H_2SO) ni alcalin (ammoniaque). Il fut additionné, après très légère acidification par l'acide sulfurique, d'une solution d'alun de fer ammoniacal dans le sulfate ammonique saturé. Il se produisit un précipité floconneux abondant (A).

Après neutralisation à peu près complète, le filtrat fut additionné d'alun ammoniacal en poudre, tant qu'il se produisit un précipité (B). Après nouvelle filtration et dilution avec de l'eau distillée, on débarrassa le liquide filtré du sulfate ammonique et du fer par la baryte en évitant un excès, et de la baryte par l'acide carbonique. Malgré un lavage copieux du volumineux précipité de sulfate de baryte, une bonne partie des substances cristalloïdes (45 %) furent perdues au cours des manipulations.

La solution ainsi obtenue, débarrassée de son ammoniaque par concentration au bain-marie et reprise ultérieure par l'eau distillée, ne contenait certainement plus d'albumoses ni d'antipeptones. Il est probable d'ailleurs qu'elle n'en contenait pas auparavant (1). Elle donna les mêmes réactions de coloration et de précipitation que le liquide A dont elle provenait.

---

(1) Le précipité A uni au précipité B, après que l'un et l'autre eurent subi séparément une purification par dissolution et reprécipitation, furent mis à digérer avec de la baryte en léger excès à 40°, de façon à mettre les antipeptones en dissolution, tout en se débarrassant du fer et du sulfate ammonique. La solution privée de son ammoniaque dans le vide, ne donna pas la réaction du biuret, caractéristique des antipeptones. Injectée à un chien (à raison de 0gr04 d'azote par kilogramme), elle produisit une chute de pression modérée, accélération de la coagulation, hypoleucocytose, sans la moindre immunité propeptonique.

Elle fut injectée à deux chiens. Le résultat fut absolument comparable à ceux obtenus au moyen du liquide A. Il ne sera donné le détail que d'une seule.

Chien de 5 kilogrammes, à jeun depuis quarante-huit heures.

A 16 h. 26 m., prise de sang, coagulé en quatre minutes; 16,600 leucocytes. Pression carotidienne : 13cm3.

A 16 h. 36 m., injection dans la jugulaire, en sept secondes, de 25 centimètres cubes de liquide purifié contenant 2gr775 de produits cristalloïdes.

La pression tombe à 3 centimètres environ; systoles cardiaques irrégulières et rares. On fait de la respiration artificielle, le cœur se ranime rapidement.

A 16 h. 40 m., prise de sang, coagulé à 17 h. 10 m.; 3,100 leucocytes. Pression carotidienne : 4cm4.

A 17 h. 10 m., pression carotidienne : 8cm2; à 17 h. 30 m. : 5cm1.

A 17 h. 23 m., prise de sang, coagulé à 17 h. 28 1/2 m.; 2,300 leucocytes.

A 17 h. 30 m., injection dans la jugulaire de 15 centimètres cubes de peptone de Witte à 10 %. La pression tombe rapidement, les systoles s'espacent et deviennent irrégulières. On tue l'animal, à 17 h. 37 m., par saignée.

Le sang recueilli est complètement fluide après vingt-quatre heures; il contient 2,200 leucocytes.

Chez l'autre chien, de 6kgr5, il fut injecté 6gr68 de produits cristalloïdes. Le sang recueilli au bout de cinq minutes resta liquide pendant vingt-quatre heures, à part un très léger caillot pariétal.

Les résultats ne sont donc pas sensiblement différents de ceux qui furent obtenus par le produit brut d'autodigestion du pancréas. Ils ne peuvent, par conséquent, être attribués à des traces d'albumoses ou d'antipeptones

mélangées aux substances cristalloïdes, mais sont bien dus aux produits ultimes de la digestion pancréatique.

L'étude des effets de l'injection intraveineuse lente fournit encore quelques renseignements au sujet des propriétés biologiques de ces substances.

Expériences d'injection intraveineuse lente des produits cristalloïdes.

EXPÉRIENCE I.

Chien de 5kgr5, à jeun depuis quarante-huit heures.

A 10 h. 10 m., prise de sang, coagulé à 10 h. 13 m.; 14,400 leucocytes; pression carotidienne : 18 centimètres.

A 10 h. 20 m., on commence l'injection lente et continue dans la jugulaire de 110 centimètres cubes de la solution A (soit 12gr46 de produits cristalloïdes).

On a injecté, à 11 heures, 23 centimètres cubes; à 11 h. 20 m., 34 centimètres cubes; à 11 h. 33 m., 45 centimètres cubes; à 12 h. 23 m., 90 centimètres cubes; à 12 h. 35 m., 110 centimètres cubes (fin).

A 10 h. 59 m., prise de sang, coagulé à 11 h. 11 m.; 7,700 leucocytes; pression carotidienne : 18cm3.

A 11 h. 12 m., pression carotidienne : 18cm1 (30cc5 ont été injectés).

A 11 h. 27 m., prise de sang, coagulé à 11 h. 53 m.; 5,000 leucocytes; pression carotidienne : 15cm5.

A 12 h. 18 m., prise de sang, coagulé à 19 heures; 4,500 leucocytes; pression carotidienne : 12cm2.

A 12 h. 35 m., pression carotidienne : 9 centimètres.

A 12 h. 53 m., prise de sang; à 19 heures, caillot presque complet, complet le lendemain matin; 5,600 leucocytes; pression carotidienne : 8cm8.

L'animal est tué.

EXPÉRIENCE II.

Jeune chien de 2kgr5, à jeun depuis vingt-quatre heures.

A 15 h. 5 m., prise de sang, coagulé à 15 h. 13 m.; 20,100 leucocytes; pression carotidienne : 16cm4.

A 15 h. 10 m., début de l'injection intraveineuse lente, continue du liquide A (50 centimètres cubes contenant 5gr665 de produits cristalloïdes); à 15 h. 43 m., 10 centimètres cubes ont été administrés; à 16 h. 4 m., 20 centimètres cubes; à 16 h. 28 m., 35 centimètres cubes; à 17 h. 5 m., 50 centimètres cubes (fin).

A 15 h. 32 m , prise de sang, coagulé à 15 h. 35 m.; 14,600 leucocytes; pression carotidienne : 15cm6.

A 16 h. 22 m., prise de sang, coagulé à 18 h 20 m.; 900 leucocytes; pression carotidienne : 14 centimètres.

A 16 h. 48 m., pression carotidienne : 13cm6; à 17 h. 5 m., 10cm4.

A 17 h. 7 m., prise de sang; à 19 heures, caillot pariétal, complété le lendemain matin; 3,300 leucocytes.

A 17 h. 30 m., pression carotidienne : 8cm8; à 18 h. 23 m.. 12cm7.

A 18 h. 10 m., prise de sang, coagulé à 18 h. 52 m.; 1,800 leucocytes.

A 18 h. 23 m., injection, en six secondes, dans la jugulaire de 0gr125 de peptone de Witte, dissous dans 20 centimètres cubes de sérum artificiel.

La pression tombe de 12cm7 à 3cm4.

Un échantillon de sang, recueilli six minutes après l'injection, reste fluide pendant vingt-quatre heures, sauf un très faible caillot pariétal; 900 leucocytes.

EXPÉRIENCE III.

Chien de 4kgr2, à jeun depuis deux jours.

A 15 heures, prise de sang, coagulé à 15 h. 7 m.; 9,800 eucocytes; pression carotidienne : 16cm9.

Mélanges de sang et de liquide pancréatique A :

4cc75 de sang + 0cc25 de liquide, coagulé après dix-sept minutes;

4cc5 de sang + 0cc5 de liquide, coagulé après une heure dix minutes;

4 centimètres cubes de sang + 1 centimètre cube de liquide, après vingt-quatre heures, caillot pariétal, filiforme.

A 15 h. 10 m., on commence l'injection de 80 centimètres cubes de liquide pancréatique A (contenant 9gr065 de produits cristalloïdes).

A 15 h. 26 m., on a injecté 5 centimètres cubes; à 15 h. 37 m., 10 centimètres cubes; à 15 h. 49 m., 20 centimètres cubes; à 16 h. 10 m., 31 centimètres cubes; à 16 h. 22 m., 40 centimètres cubes; à 16 h. 47 m., 60 centimètres cubes; à 17 h. 11 m., 80 centimètres cubes (fin).

A 15 h. 26 m., la pression artérielle est de 13 centimètres; à 15 h. 43 m., de 8cm7; à 15 h. 49 m., de 6cm8; à 16 h. 22 m., de 5cm3; à 16 h. 47 m., de 5cm4; à 17 h. 11 m., de 7 centimètres; à 18 h. 22 m., de 6 centimètres.

A 16 h. 17 m., prise de sang, coagulé à 17 h. 50 m.; 1,300 leucocytes.

A 16 h. 25 m., efforts de vomissement.

A 17 h. 13 m., prise de sang, caillot pariétal assez développé à 20 heures, caillot complet le lendemain matin; 3,400 leucocytes.

A 18 h. 32 m., prise de sang, caillot pariétal à 20 heures, complété le lendemain matin; 3,500 leucocytes.

A 19 heures, prise de sang, caillot pariétal à 20 heures, complété le lendemain matin.

A 19 h. 1 m., injection, en quatre secondes, de 0gr2 de peptone de Witte dissous dans 20 centimètres cubes de chlorure sodique à 1 %. La pression artérielle tombe de 6 centimètres à 4cm3.

A 19 h. 8 m., prise de sang, complètement coagulé après une heure; 3,500 leucocytes.

A 18 heures et à 18 h. 45 m., l'animal a évacué par l'anus des matières liquides.

EXPÉRIENCE IV.

Chien de 6 kilogrammes, à jeun depuis quarante-huit heures.

A 15 h. 18 m., prise de sang, coagulé à 15 h. 28; 9,000 leucocytes; pression carotidienne : 18cm4.

Mélanges de sang et de liquide pancréatique :

4cc5 de sang + 0cc5 de liquide, coagulé après cinq heures;

4 centimètres cubes de sang + 1 centimètre cube de liquide, après cinq heures, caillot pariétal faible, idem après vingt-quatre heures;

3cc5 de sang + 1cc5 de liquide, complètement fluide après vingt-quatre heures.

A 15 h. 29 m., on commence l'injection intraveineuse lente, continue, de 240 centimètres cubes de liquide B (contenant 21gr816 de produits cristalloïdes).

On a injecté, à 15 h. 33 m., 6 centimètres cubes; à 15 h. 45 m., 30 centimètres cubes; à 15 h. 54 m., 50 centimètres cubes; à 16 h. 8 m., 75 centimètres cubes; à 16 h. 22 m., 100 centimètres cubes; à 16 h. 48 m., 150 centimètres cubes; à 17 h. 17 m., 200 centimètres cubes; à 17 h. 36 m., 240 centimètres cubes (fin).

Immédiatement après le début de l'injection, la pression carotidienne s'élève notablement; après l'injection de 2 centimètres cubes, elle est à 22 centimètres; après 4 centimètres cubes, à 23cm6 (15 h. 31 m.); après 6 centimètres cubes, à 24 centimètres (15 h. 33 m.); après 15 centimètres cubes, à 24cm3 (15 h. 38 m.); elle reste à ce niveau jusque 15 h. 45 m. (30 centimètres cubes injectés), puis se met à descendre à 22 centimètres, à 15 h. 54 m. (50 centimètres cubes injectés); à 19cm2, à 16 h. 8 m.; à 16 centimètres, à 16 h. 22 m.; à 12cm4, à 17 h. 3 m. (175 centimètres cubes injectés); à 9cm9, à 17 h. 17 m.; à 5 centimètres, à 17 h. 36 m.; à 5 centimètres, à 18 h. 14 m.; à 4cm7, à 18 h. 49 m.; à 2cm4, à 20 h. 33 m. L'animal meurt peu de temps après.

A 16 h. 10 m., l'animal fait des efforts de vomissement.

Nouveaux efforts à 16 h. 50 m.

A 16 h. 35 m., prise de sang, caillot moyen à 20 h. 40 m., complété le lendemain matin; 3,100 leucocytes.

A 17 h. 38 m., prise de sang, caillot moyen à 20 h. 40 m., idem après vingt-quatre heures; 3,900 leucocytes.

A 18 h. 39 m., prise de sang, caillot faible à 20 h. 40 m., idem après vingt-quatre heures; 3,500 leucocytes.

A 20 h. 34 m., prise de sang, caillot faible après vingt-quatre heures; 5,000 leucocytes.

A 20 heures, selle liquide abondante, jaunâtre, non muqueuse (purée de pois), bien déterminée par l'injection, puisque l'animal a évacué spontanément, au moment où on l'attachait sur la gouttière, des matières solides, d'aspect normal.

Après la mort, on constate une congestion veineuse très intense de la muqueuse intestinale. La simple expression de l'intestin entre les doigts, destinée à évacuer le liquide qu'il pourrait contenir, suffit à amener une bouillie cellulaire rose, constituée par la muqueuse intestinale, détachée en masse (analogue à celle que l'on obtient après l'occlusion prolongée de l'aorte [Starling]).

EXPÉRIENCE V.

Chien de 6 kilogrammes, à jeun depuis quarante-huit heures.

A 14 h. 57 m., prise de sang, coagulé à 15 h. 17 m.; 9,500 leucocytes; pression carotidienne : 15^{cm}8.

Mélanges de sang et de liquide pancréatique B :

4^{cc}75 de sang + 0^{cc}25 de liquide pancréatique, coagulé après une heure;

4^{cc}5 de sang + 0^{cc}5 de liquide pancréatique, coagulé après une heure et demie;

4 centimètres cubes de sang + 1 centimètre cube de liquide pancréatique, demi-caillot après cinq heures, idem après vingt-quatre heures.

A 15 h. 17 m., début de l'injection intraveineuse lente, continue de

60 centimètres cubes de liquide B, contenant 5gr454 de produits cristalloïdes.

A 15 h. 22 m., on a injecté 11 centimètres cubes; à 15 h. 26 m., 25 centimètres cubes; à 15 h. 34 m., 50 centimètres cubes; à 15 h. 36 m., 60 centimètres cubes.

Immédiatement après le début de l'injection, la pression carotidienne s'élève; à 15 h. 20 m., elle est à 23cm4, mais elle ne se tient pas longtemps à ces hauteurs et redescend rapidement; à 15 h. 24 m., elle est de 21cm4; à 15 h. 26 m., de 15cm4; à 15 h. 28 m., de 12cm6; à 15 h. 34 m., de 10 centimètres; à 15 h. 36 m., de 8 centimètres; à 15 h. 44 m., de 7cm6; à 16 h. 14 m., de 4cm6.

A 15 h. 39 m., prise de sang, coagulé à 15 h. 59 m.; 4,800 leucocytes.

A 16 h. 8 m., prise de sang, coagulé à 16 h. 14 m.; 2,200 leucocytes.

A 16 h. 23 m., injection, en huit secondes, de 0gr3 de peptone de Witte dissous dans 20 centimètres cubes d'eau salée à 1 %. La pression carotidienne descend à 2cm2.

A 16 h. 29 m., prise de sang, caillot pariétal faible après une demi-heure, qui n'augmente pas dans les vingt-quatre heures; masse du sang liquide; 3,800 leucocytes.

Si l'on tire, après la lecture des protocoles, les conclusions générales que comportent les expériences, on sera frappé des analogies qu'elles présentent avec celles d'injection intraveineuse lente de propeptone (1).

L'influence sur la pression artérielle générale s'exerce dans le même sens. Il se produit une chute profonde

---

(1) P. Nolf, *Contribution à l'étude de l'immunité propeptonique du chien.* (Bull. de l'Acad. roy. de Belgique [Classe des sciences], 1902, p. 979.)

après un temps plus ou moins long pour une dose plus ou moins forte. Il existe, à cet égard, des différences individuelles notables, tout comme pour la propeptone. Le chien de l'expérience III s'est montré particulièrement sensible. Dans les expériences IV et V, faites avec le liquide B, on constate au début de l'injection une hausse énorme de la pression artérielle, à laquelle fait suite la chute ordinaire. Cette hausse manque totalement dans les expériences I, II et III.

Elle indique donc une différence de composition chimique des deux solutions. B contient une substance à action vaso-constrictive énergique, qui manque dans A.

On peut donner de ce fait deux explications : ou bien il existe au début de l'autodigestion pancréatique (le liquide B résulte d'une autodigestion de quatre semaines) des produits à action vaso-constrictive, qui disparaissent ultérieurement (le liquide A provient d'une autodigestion de sept mois); ou bien, ce qui est plus probable, il s'est produit au début de l'autodigestion de B une légère putréfaction (ce qui arrive fréquemment dans la digestion en milieu chloroformique, quand on n'a pas soin d'agiter fréquemment et vigoureusement le mélange). N'ayant pas surveillé moi-même l'autodigestion de B, je ne puis fournir aucune assurance à ce sujet. Si j'ai néanmoins mentionné les résultats de ces deux expériences, c'est qu'ils sont intéressants à d'autres titres.

Le seul résultat certain des cinq expériences, c'est qu'à dose suffisante les produits cristalloïdes provenant de la digestion trypsique, tout comme la propeptone, dépriment fortement la pression artérielle.

L'analogie d'action va plus loin : on peut dire que c'est par le même mécanisme que les deux agents produisent cette chute de pression.

Pour la propeptone, il a été démontré, par les recherches de Thompson [que j'ai pu confirmer avec une méthode nouvelle (1)], que ce produit agit directement sur la paroi vasculaire, qu'il paralyse. Ce sont les vaisseaux de l'intestin et du foie qui sont le plus sensibles à son action.

En appliquant aux produits cristalloïdes la méthode qui m'a servi à mettre en évidence l'action vaso-dilatatrice de la propeptone, j'ai obtenu (dans la seule expérience faite) un résultat absolument analogue à celui que donne la propeptone.

A l'autopsie des chiens, on constate d'ailleurs une congestion intense du territoire de la veine porte, de sorte qu'il y a tout lieu d'admettre une similitude complète d'action de la propeptone et des produits cristalloïdes sur la paroi vasculaire en général et sur la paroi de la veine porte en particulier. Cette analogie n'est probablement pas fortuite et elle semble digne de retenir l'attention des physiologistes.

Propeptone et produits cristalloïdes ont une autre propriété commune. Injectés dans les veines, ils produisent tous deux une hypoleucocytose extrême. Cet effet peut se manifester alors que la pression artérielle n'est pas influencée ou l'est à peine. Dans l'expérience II, le nombre des leucocytes est tombé de 20,100 à 900, alors que la pression artérielle est encore à 14 centimètres (primitivement à $16^{cm}4$). Dans l'expérience I, la pression artérielle s'est élevée de 18 centimètres à $18^{cm}3$ à un moment où le nombre des leucocytes est déjà fortement

---

(1) P. Nolf, *Procédé nouveau applicable à l'étude des substances à action vaso-motrice.* (Bull. de l'Acad. roy. de Belgique [Classe des sciences], 1902, p. 825.)

diminué (7,700 au lieu de 14,400). J'ai signalé le même fait pour la propeptone.

Mais les produits cristalloïdes se différencient nettement de la propeptone dans leur action sur la coagulation du sang.

Quand la propeptone est injectée assez lentement dans le sang pour ne pas produire l'incoagulabilité, elle accélère d'habitude la coagulation.

Les produits cristalloïdes, au contraire, l'empêchent, et le retard qu'ils occasionnent semble être le résultat d'une action directe sur les éléments qui interviennent dans la prise en caillot. A cet égard, ils s'écartent donc complètement de la propeptone.

Il a été fait, dans les expériences III, IV et V, la comparaison entre l'effet anticoagulant *in vitro* et *in vivo*.

Le mode d'administration lente se prête moins bien à ces recherches que l'injection brusque, en raison de la disparition probable d'une partie de la substance injectée dans les vaisseaux.

Dans l'expérience III, il avait été injecté, à 16 h. 17 m., environ 36 centimètres cubes de liquide. L'animal possédait environ 300 centimètres cubes de sang, ce qui fait (en admettant que toute la solution soit restée dans les vaisseaux) une dilution de $^1/_9$, c'est-à-dire 1 centimètre cube de liquide pour 9 de sang. L'échantillon était coagulé après une heure et demie. Le mélange fait *in vitro* dans les mêmes proportions coagula en une heure dix minutes.

Dans l'expérience IV, à la fin de l'expérience, on a injecté 240 centimètres cubes, qui se mélangent aux 420 centimètres cubes de sang, soit un rapport de plus de $^1/_2$, environ 1 partie de solution pour 2 de sang. Le sang recueilli à ce moment est coagulé complètement après vingt-quatre heures, tandis qu'un mélange moins

riche en substance pancréatique fait *in vitro* reste fluide pendant plus de vingt-quatre heures.

Dans l'expérience V, résultat du même genre, beaucoup plus accusé, en raison de la disparition des produits injectés dans le sang.

Ces observations tendent donc à confirmer la conclusion tirée des expériences d'injection brusque, d'après laquelle l'activité anticoagulante exercée dans les vaisseaux par les produits cristalloïdes est de même nature que celle qu'ils déploient *in vitro*.

Il est intéressant de constater que dans les intoxications profondes, dont les expériences III et IV fournissent des exemples (qu'elles soient causées par une susceptibilité spéciale de l'organisme [III] ou par la dose double [IV] de celle qui fut habituellement injectée, dose de 1 gramme environ par kilogramme-heure), la substance active disparaît très lentement de la circulation.

Dans l'expérience III, une prise de sang, faite immédiatement après la fin de l'injection, coagule dans le même temps qu'un échantillon prélevé deux heures plus tard.

Dans l'expérience IV, trois heures après la fin de l'injection, le sang n'a pas récupéré trace de sa coagulabilité.

Si l'on admet que l'incoagulabilité est fonction directe de la masse des produits dissous dans le sang, on est forcé de conclure que, pendant deux heures chez le chien III, pendant trois heures chez le chien IV, la concentration du sang en produits actifs n'a pas sensiblement varié.

Ce fait me semble très intéressant.

Il résulte de recherches récentes de Fischer et Abderhalden (1) que l'opinion d'après laquelle la digestion pancréatique suffisamment intense et prolongée aboutit au clivage total de la molécule protéique en ses constituants cristalloïdes n'est pas exacte.

Après sept mois de digestion pancréatique dans des liquides qui ne donnaient plus de réaction du biuret, les chimistes allemands ont isolé régulièrement (quelle que fût la nature de la substance protéique étudiée : caséine, fibrine, globuline, etc.) une substance qu'ils font rentrer dans la catégorie des polypeptides de Fischer. Cette substance, qui ne donne pas le biuret ou donne un biuret à peine perceptible, est cependant encore très complexe. Son hydrolyse par les acides fournit de l'acide α-pyrrolidine-carbonique, de la phénylalanine, de la leucine, de l'alanine, les acides glutamique et aspartique. Cette substance, à très grosse molécule, ne cristallise pas. Elle est très probablement de nature colloïdale. Elle devait exister dans les liquides A et B, qui furent injectés dans mes expériences.

Or nous venons de constater le peu de diffusibilité de la substance anticoagulante à travers la paroi vasculaire. D'autre part, Thompson (2) n'obtint aucun effet sur la

---

(1) Fischer et Abderhalden, *Ueber die Verdauung einiger Eiweisskörper durch Pankreasfermente.* (Zeitschrift für physiologische Chemie, XXXIX, 8, 1903.) — *Ueber die Verdauung des Kaseins durch Pepsinsalzsäure und Pankreasferment.* (Zeitschrift für physiologische Chemie, XL, 1903.)

(2) Thompson, *Die physiologische Wirkung der Protamine und ihrer Spaltungsprodukte.* (Zeitschrift für physiologische Chemie, XXIX, 1, 1899.)

coagulation et la pression artérielle en injectant à des chiens les bases hexoniques isolées. Les autres molécules cristallines isolées des liquides de digestion pancréatique sont aussi inactives. De la confrontation de ces deux faits, il résulte avec beaucoup de probabilité que la substance qui, dans le liquide pancréatique, agit sur la paroi vasculaire et la coagulation du sang est précisément ce polypeptide de Fischer et Abderhalden.

Quant à la disparition du polypeptide de la circulation, elle se ferait moins par diffusion que par fixation sur les éléments de la paroi vasculaire. Moins grande serait la capacité de saturation de celle-ci, plus forte serait la chute de pression (pour une dose déterminée), plus lente la disparition de l'incoagulabilité.

Je ferai encore remarquer que les effets observés après l'injection du liquide de digestion pancréatique se couvrent complètement avec ceux que Thompson a pu produire par l'infusion intraveineuse de protamine (et probablement aussi d'histone) : chute de pression artérielle, hypoleucocytose, diminution de la coagulabilité du sang par action directe.

Il résulte du mécanisme même de l'action anticoagulante des produits de digestion pancréatique qu'il n'existe pas d'immunité à leur action sur la coagulabilité. Si une première injection conférait l'immunité, le sang devrait rester coagulable au cours d'une injection lente, comme cela a lieu dans l'injection lente de propeptone.

Mais à défaut d'immunisation contre leur propre action, ces substances augmentent-elles la résistance contre l'injection intraveineuse de propeptone?

Dans l'expérience II, cette immunité est à peine ébauchée contre la dose de 0gr05 de peptone de Witte par

kilogramme. Elle existe au contraire pour la même dose dans l'expérience III (après l'injection de propeptone, le sang coagule beaucoup plus vite qu'avant). Dans l'expérience V, elle est à peine marquée.

Si l'on songe que la dose de 0gr05 est très faible, que des conditions assez banales, réalisées lors de l'absorption intestinale de solutions salines, peuvent produire l'immunité complète vis-à-vis d'une quantité légèrement inférieure (0gr03), on sera tenté de ne pas ajouter grande importance à ce faible renforcement de la résistance à l'injection intraveineuse brusque de propeptone. Cette conclusion s'impose d'autant plus que les quantités de liquide pancréatique administrées furent très considérables. Quand, au lieu d'injecter de faibles doses de propeptone, on administre des quantités plus fortes (0gr3 par kilogramme), l'immunité acquise après administration des produits pancréatiques semble nulle (expérience I de la série « Injections rapides de produits cristalloïdes purifiés »).

C'est une différence de plus entre l'action des produits d'hydrolyse pancréatique et la propeptone.

Il me reste, avant de terminer cette longue étude, à comparer les effets obtenus après l'administration intra-intestinale des produits cristalloïdes à ceux que produit leur pénétration directe dans le sang.

Il a été dit dans l'introduction historique de ce mémoire, que Cohnheim, en se basant surtout sur ses recherches chez les mollusques, avait soutenu l'opinion que les produits cristalloïdes, absorbés au niveau de l'intestin, n'étaient pas retenus dans la muqueuse intestinale, mais passaient dans le sang. C'est dans le sang que les cellules des différents organes les puisaient pour en

faire les moellons de construction de leur édifice plasmique.

A vrai dire, Kutscher et Seeman avaient vainement tenté de retrouver les bases hexoniques dans le sang d'animaux en digestion de viande. Mais Cohnheim déniait à ce résultat négatif toute valeur démonstrative en objectant que, grâce à l'avidité d'assimilation des tissus, les produits cristalloïdes disparaissaient du sang à mesure de leur pénétration dans ce milieu. De sorte que leur concentration y fût toujours trop faible pour que les procédés chimiques les y pussent déceler.

Dans les expériences II et III d'absorption intestinale de produits cristalloïdes, la vitesse de résorption a dépassé la valeur de 1 gramme par kilogramme-heure, continuée pendant trois heures dans II, pendant six heures dans III. Dans l'expérience I, la quantité absorbée ne fut pas déterminée. Mais si l'on se souvient que le liquide de digestion pancréatique retiré de l'intestin est régulièrement plus pauvre en azote que celui injecté, on peut, en supposant aux 175 centimètres cubes de liquide résiduel une concentration égale à celle qu'ils avaient au moment de leur administration, déterminer la valeur limite minima de l'absorption. Elle serait de $1^{gr}08$ par kilogramme-heure continuée pendant six heures.

C'est intentionnellement que dans nos expériences sur l'infusion intraveineuse lente des mêmes produits, nous lui avons donné dans les essais I, II, III et V cette même valeur (1 gramme par kilogramme-heure). Or, après une heure (V) et surtout après deux heures (I, II, III) de cette administration, nous obtenons, du côté de la coagulation du sang et de la pression artérielle, des modifications très caractéristiques, dont la première fait totalement

défaut et la seconde est à peine ébauchée (à moins de diarrhée) chez les animaux qui absorbent les mêmes doses par l'intestin.

Nous sommes donc en droit de conclure, pour les produits de digestion pancréatique, de la même manière que pour la propeptone. Ces produits sont absorbés en grande quantité par la muqueuse intestinale et retenus par elle. Quand cette absorption est très active, qu'elle porte sur de grandes quantités et dure longtemps, il est assez probable qu'une faible fraction des molécules absorbées échappent à l'affinité des cellules épithéliales et pénètrent dans le sang. C'est probablement à partir de ce moment que tend à intervenir un mécanisme régulateur (le même pour la propeptone), qui n'est autre chose que la diarrhée.

En résumé donc, ces recherches aboutissent à la confirmation de l'opinion classique, d'après laquelle l'épithélium intestinal constitue une barrière opposée à la pénétration dans le sang des substances plus ou moins complexes (propeptones, peptones et dérivées) qui résultent de l'action des sucs digestifs sur les albuminoïdes de l'alimentation. Mais leur valeur démonstrative réside tout entière dans les chiffres cités. On n'est pas en droit d'opposer, comme on l'a fait jusqu'ici, les effets de l'infusion dans une veine à ceux de la digestion prise en bloc. Ce mode d'expérimentation ne peut fournir aucun résultat valable si les résultats que l'on oppose ne sont pas obtenus par des causes équivalentes en *quantité*. Dans aucune des recherches anciennes, cette condition ne se trouve remplie.

Cette considération justifie à elle seule l'opportunité des recherches exposées dans ce travail.

Il aura semblé étrange à quelques lecteurs d'appliquer le manomètre à l'étude d'un processus tel que l'absorption intestinale, qui semble *a priori* uniquement relever des méthodes de l'analyse chimique.

Mais il ne faut pas oublier que pour étudier les phénomènes de la vie, nous n'avons pas encore trouvé de meilleur réactif que l'être vivant lui-même.

Je termine en condensant en quelques phrases les principaux résultats de ces recherches :

1° L'épithélium intestinal absorbe rapidement la propeptone en milieu neutre, alcalin ou acide.

2° Quand l'absorption se fait en milieu neutre ou alcalin et porte sur de grandes quantités, une faible partie de la propeptone absorbée passe dans le sang, la presque totalité reste fixée dans la muqueuse intestinale.

3° Quand l'absorption se fait en milieu acide (acide chlorhydrique), on ne constate pas les phénomènes révélateurs de la pénétration d'une partie de la propeptone dans le sang.

4° L'injection dans les veines d'un liquide d'autodigestion pancréatique, qui ne donne plus le biuret, exerce sur la pression artérielle une action dépressive très marquée, due à une paralysie vasculaire d'origine périphérique.

Quand elle est suffisamment abondante, elle produit l'incoagulabilité du sang par action directe.

Elle ne confère pas d'immunité propeptonique notable.

5° L'épithélium intestinal absorbe rapidement les produits ultimes de la digestion pancréatique. Il les retient et s'oppose à leur passage dans le sang.

OUVRAGES PRÉSENTÉS.

Henry (*Louis*). Université catholique de Louvain. Édouard Martens, professeur de botanique à la Faculté des sciences. Notice biographique. Louvain, 1904; petit in-8° (43 p.).

Malaise (*C.*). Notice sur Charles-Louis-Joseph-Xavier de la Vallée Poussin, associé de l'Académie. Bruxelles, 1904; extr. in-18 (32 p., portrait).

Cabuy (*Arthur*). L'artscientisme et le limitarisme. Bruxelles, 1900; in-8° (260 p. et 2 tableaux).

Lecointe (*G.*). Annuaire astronomique de l'Observatoire royal de Belgique, 1905; in-12.

Tackels (*C.-J.*). Appel patriotique. Création d'un corps d'élite de volontaires. Éducation pratique et virile de la jeunesse. Bruxelles, 1901; in-8° (46 p., fig.).

Archives de biologie (Éd. Van Beneden et Charles Van Bambeke), tome XX, fascicules 1 et 2, 1903.

Bruxelles. *Commission de la Belgica.* Expédition antarctique belge. Résultats du voyage du *S. Y. Belgica,* en 1897-1899, sous le commandement de A. de Gerlache de Gomery. Rapports scientifiques, in-4° :

Météorologie. Observations des nuages; par A. Dobrowolski. 1903 (158 p.).

La neige et le givre; par le même. 1903 (78 p.).

Botanique. Lichens; par Éd.-A. Wainio. 1903 (46 p. et 4 pl.).

Zoologie. Madreporaria und Hydrocorallia; von Emil von Marenzeller. 1903 (7 p. et 1 pl.). Actiniarien; von Oskar Carlgren. 1903 (7 p. et 1 pl.).

Copepoden; von Dr. Giesbrecht. 1902 (49 p. et 12 pl.).

Myriapodes; par C. Attems. 1902 (5 p. et 1 pl.). Collemboles; par A. Willems. 1902 (16 p. et 4 pl.).

Acariens libres; par E. Trouessart et A.-D. Michael. 1903 (16 p. et 2 pl.). Acariens parasites; par L.-G. Neumann. 1903 (5 p.). Araignées et faucheurs; par E. Simon. 1903 (7 p.).

Mollusques, Amphineures, Gastropodes et Lamellibranches; par Paul Pelseneer. 1903 (85 p. et 9 pl.). Céphalopodes; par L. Joubin. 1903 (2 p.).

Cétacés; par Émile Racovitza. 1903 (143 p. et 4 pl.).

Scesterne (Astérides). 1903 (72 p. et 7 pl.).

—

Vienne. *Zoologisch-botanische Gesellschaft.* Verhandlungen, 1903, 53. Band.

Cassel. *Verein für Naturkunde.* Abhandlungen und Bericht, n° 48, 1902-1903.

—

Mogni (*Antonio*). Nuova teorica della legge d'oscillazione del pendolo, avuto riguardo alla rotazione della Terra. Jesi, 1903; in-8° (29 p.).

Odessa. *Observatoire.* Observations des taches et des facules solaires, faites du mois de septembre 1894 au mois de juin 1895. 1903; in-8° (128 p.).

Bucarest. *Institut météorologique.* Bulletin, XI, 1902; in-4°.

Bergen. *Museum.* Aarbog, 1903.

ACADÉMIE ROYALE DE BELGIQUE

BULLETIN

DE LA

CLASSE DES SCIENCES

1904. — N° 5.

CLASSE DES SCIENCES.

Séance du 5 mars 1904.

M. Léon Fredericq, directeur.

M. le chevalier Edmond Marchal, secrétaire perpétuel.

Sont présents : MM. P. De Heen, *vice-directeur;* G. Dewalque, C. Malaise, F. Folie, Jos. De Tilly, Ch. Van Bambeke, Alfr. Gilkinet, G. Van der Mensbrugghe, W. Spring, Louis Henry, M. Mourlon, P. Mansion, C. Le Paige, J. Deruyts, J.-B. Masius, J. Neuberg, A. Lancaster, Leo Errera, Julien Fraipont, A. Jorissen, P. Francotte, Paul Pelseneer, *membres;* A. Gravis et Aug. Lameere, *correspondants.*

M. le Secrétaire perpétuel donne lecture, devant l'assemblée debout, de la lettre qu'il a reçue, sous la date du 29 février, de M. Désiré Laurent, directeur de l'École d'horticulture de Mons :

« J'ai la douleur de vous faire part de la mort de mon frère, Émile Laurent, membre correspondant de l'Académie, décédé le 20 février à bord de l'*Albertville*, retour du Congo. »

M. le Directeur prononce, à ce sujet, les paroles suivantes :

« L'Académie, déjà si éprouvée dans ces derniers temps, vient, Messieurs, d'être encore une fois cruellement frappée. Comme vous le savez, notre cher et éminent confrère, Émile Laurent, est mort à bord de l'*Albertville*, alors qu'il revenait de son troisième voyage au Congo.

» Ce n'est pas le moment d'énumérer les travaux qui ont illustré son nom et étendu sa réputation scientifique bien au delà de nos frontières. Je me borne à rappeler que, l'an dernier, l'Académie des sciences de Paris lui avait fait l'honneur de l'élire parmi ses correspondants étrangers.

» Sa perte sera vivement ressentie par l'Académie et par tous les intellectuels du pays. »

M. le Secrétaire perpétuel est chargé d'écrire à M. Désiré Laurent et à sa famille pour exprimer les regrets de la Classe.

CORRESPONDANCE.

M. le Secrétaire perpétuel donne lecture de la lettre de félicitations qu'il a adressée au nom de la Classe à M. le professeur Haeckel, de l'Université d'Iéna, associé de l'Académie, au sujet de la célébration, le 16 février, de son soixante-dixième anniversaire.

— La Wiskundig Genootschap, d'Amsterdam, envoie le programme des questions de son concours pour 1904. Les réponses doivent être rédigées de préférence en langue néerlandaise et être soumises avant le 1er décembre.

— La Classe vote des remerciements à M. Gilkinet pour sa notice biographique sur Joseph Delbœuf, ancien membre de la Classe. Cette notice figurera dans l'*Annuaire* pour 1905.

ASSOCIATION INTERNATIONALE DES ACADÉMIES.

Sir Michael Foster, secrétaire de la Société royale de Londres, demande, comme président du comité de l'assemblée triennale, qui se tiendra à Londres, lors des fêtes de Pentecôte :

1° L'assentiment de la Classe à l'admission dans l'Association de l'Académie royale des sciences de Madrid. — Accepté;

2° L'adjonction, comme membres de l'Institut Marey, de dix noms proposés par ce savant. — Adopté.

La Société royale de Londres envoie dix exemplaires de deux propositions dont elle saisira l'assemblée générale précitée, et ayant pour objet :

1° De solliciter la collaboration des académies pour son *Catalogue of scientific litteratur* par la communication du dépouillement des recueils scientifiques de leurs pays respectifs;

2° De donner suite aux décisions du dernier Congrès international de géologie en ce qui concerne l'établissement de stations sismologiques.

L'Académie des sciences de Paris envoie, à cet effet, dix exemplaires du rapport présenté dans sa séance du 15 février dernier, au nom de la Commission de sismologie, et ayant pour but de définir les branches des recherches géologiques pour lesquelles la coopération internationale pourrait s'exercer avec le plus de fruit. — Ces deux propositions sont renvoyées à l'examen de MM. Dewalque, Mourlon et Lancaster.

— Hommages d'ouvrages :

1° a) *Sur un nouveau curvigraphe;* par Victor Lebeau. — *Sur les lignes tracées par le curvigraphe Victor Lebeau;* par J. Neuberg;

b) *Sur les quadrangles et les quadrilatères paralogiques;* par J. Neuberg;

c) *Ueber neuere Dreiecks-Geometrie;* par le même;

2° *Encore un mot sur les travaux du Service géologique de Belgique;* par M. Mourlon;

3° *Classification des corps simples;* par H. Moissan, associé;

4° *La géologie et la reconnaissance du terrain houiller du*

Nord de la Belgique; par Max Lohest, Alfred Habets et Henri Forir;

5° *Notes sur les graines de végétaux trouvées dans la grotte d'Engis;* par Ern. Doudou;

6° *A.-F. Renard. Éloge fait à la Société belge d'astronomie;* par Ch. Fiévez. — Remerciements.

— La Classe décide le dépôt dans les archives :

1° D'un septième billet cacheté envoyé par M. Ch. Lagrange, *sur la rotation indéfectible* (chaînette), portant sur l'enveloppe le timbre de la poste du 9 février dernier;

2° D'un pli cacheté portant la date du 5 mars 1904, remis par les Drs H. Dewaele, assistant à l'Université de Gand; E. Sugg, directeur du laboratoire de bactériologie de l'hôpital civil de Gand, et A.-J.-J. Vandevelde, directeur du laboratoire de la même ville.

— Travaux renvoyés à l'examen :

1° *Sur les faisceaux de surfaces du second ordre;* par Cl. Servais (revision du mémoire qui a été l'objet des rapports de MM. Neuberg, Mansion et De Tilly lus dans la séance du 5 décembre 1903). — Renvoi aux mêmes commissaires;

2° *Contribution à l'étude de la dissociation des corps dissous* (quatrième communication); par Ad. Vandenberghe. — Commissaires : MM. Spring et Henry.

CONCOURS POUR LES ANNÉES 1904 ET 1905

ET

PRIX PERPÉTUELS.

PROGRAMME DU CONCOURS POUR 1904.

SCIENCES MATHÉMATIQUES ET PHYSIQUES.

PREMIÈRE QUESTION.

Faire l'exposé des recherches exécutées sur les phénomènes critiques en physique.

Compléter nos connaissances sur cette question par des recherches nouvelles. — Prix : 600 francs.

DEUXIÈME QUESTION.

On demande des recherches nouvelles sur la viscosité des liquides. — Prix : 600 francs.

TROISIÈME QUESTION.

On demande une contribution à l'étude algébrique et géométrique des formes n *- linéaires,* n *étant plus grand que* 3. — Prix : 600 francs.

QUATRIÈME QUESTION.

On demande de nouvelles recherches sur la conductibilité calorifique des liquides et des dissolutions. — Prix : 600 fr.

CINQUIÈME QUESTION.

Faire l'historique et la critique des expériences sur l'induction unipolaire de Weber, et élucider, au moyen de nouvelles expériences, les lois et l'interprétation de ce fait physique. — Prix : 800 francs.

SCIENCES NATURELLES.

PREMIÈRE QUESTION.

On demande la revision de la série revinienne du massif cambrien de Stavelot en Belgique, au point de vue de sa division en trois étages, esquissée par Dumont.

Le mémoire devra être accompagné d'une carte au $^1/_{40\,000}$, indiquant les limites des étages; mais, comme les ressources de l'Académie n'en permettent pas la publication éventuelle, ces limites devront être indiquées dans le texte avec les indications nécessaires pour que le lecteur puisse les tracer sur la carte géologique actuelle. — Prix : 800 francs.

DEUXIÈME QUESTION.

Faire l'exposé des recherches sur les modifications produites dans les minéraux par la pression et compléter ces recherches par de nouvelles observations. — Prix : 600 francs.

TROISIÈME QUESTION.

On demande de nouvelles recherches sur le développement de l'Amphioxus, spécialement sur la segmentation, la fermeture du blastopore, la genèse de la notochorde, du névraxe et du mésoblaste. On désire voir élucider la question

afin de connaître si le chevauchement que l'on observe, chez l'adulte, entre les organes homodynames de droite et de gauche, est primitif ou secondaire. — Prix : 1,000 francs.

QUATRIÈME QUESTION.

On demande des recherches nouvelles sur le rôle de la pression osmotique dans les phénomènes de la vie animale. — Prix : 600 francs.

CINQUIÈME QUESTION.

On demande des recherches sur les plantes devoniennes de Belgique, au point de vue de la description, de la position stratigraphique et, si possible, des caractères anatomiques. — Prix : 600 francs.

SIXIÈME QUESTION.

On demande des recherches nouvelles sur l'hétéroecie chez les Champignons parasites. — Prix : 800 francs.

SEPTIÈME QUESTION.

Étudier l'action physiologique des histones. — Prix : 1,000 francs.

Les mémoires devront être écrits lisiblement et pourront être rédigés en français ou en flamand. Ils devront être adressés, franc de port, à M. le Secrétaire perpétuel, au Palais des Académies, avant le 1er août 1904.

DISPOSITIONS GÉNÉRALES COMMUNES AUX CONCOURS ANNUELS DE LA CLASSE.

Voir ci-après, page 212.

PROGRAMME DU CONCOURS POUR 1905.

SCIENCES MATHÉMATIQUES ET PHYSIQUES.

PREMIÈRE QUESTION.

Compléter par de nouvelles recherches nos connaissances sur les combinaisons formées par les corps halogènes entre eux (Fl, Cl, Br, I). — Prix : 1,000 francs.

DEUXIÈME QUESTION.

Compléter par de nouvelles recherches nos connaissances sur les phénomènes physiques, particulièrement les phénomènes thermiques, qui accompagnent la dissolution mutuelle des liquides, sans action chimique apparente les uns sur les autres. — Prix : 800 francs.

TROISIÈME QUESTION.

On demande une contribution importante à la théorie des complexes de droites du troisième ordre, par exemple l'étude des complexes représentés par une équation de la forme

$$\alpha\beta\gamma - K\alpha'\beta'\gamma' = 0,$$

où $\alpha = 0$, $\beta = 0$, ... *sont les équations de complexes linéaires,* K *un paramètre.* — Prix : 600 francs.

QUATRIÈME QUESTION.

Trouver, en hauteur et en azimut, les expressions des termes principaux des déviations périodiques de la verticale, dans l'hypothèse de la non-coïncidence des centres de gravité de l'écorce et du noyau terrestres. — Prix : 600 francs.

SCIENCES NATURELLES.

PREMIÈRE QUESTION.

On demande de nouvelles recherches sur le rôle physiologique des substances albuminoïdes dans la nutrition des animaux ou des végétaux. — Prix : 1,000 francs.

Exemples de questions qui pourraient être traitées par les concurrents :

Les albuminoïdes peuvent-ils se transformer en graisse dans l'organisme?

L'oxydation des albuminoïdes joue-t-elle un rôle dans la contraction musculaire ?

Les globulines et les albumines du sang ont-elles la même signification physiologique?

Quel rôle jouent les albuminoïdes dans la formation des graisses végétales ou des hydrates de carbone, etc.?

DEUXIÈME QUESTION.

On demande de nouvelles recherches sur la reproduction et la sexualité des Dicyémides. L'embryon infusoriforme est-il vraiment le mâle de ces parasites? On désire voir établir un parallèle entre la génération des Rhombozoaires d'une part et celle des Protozoaires de l'autre. — Prix : 1,000 francs.

TROISIÈME QUESTION.

Décrire les silicates de notre pays, y compris ceux qui entrent dans la composition des roches. — Prix : 800 francs.

QUATRIÈME QUESTION.

On demande de nouvelles recherches sur les divers étages compris entre le Bruxellien et le Tongrien dans le Brabant. — Prix : 1,000 francs.

CINQUIÈME QUESTION.

Déterminer l'âge géologique des dépôts formés de sables, d'argile plastique et de cailloux de quartz blanc, assimilés dans la légende de la Carte géologique à l'échelle du 40 000e à l'Oligocène et désignés par les notations Om *et* On. — Prix : 1,000 francs.

SIXIÈME QUESTION.

Il existe un assez grand nombre de végétaux dioïques (divers OEDOGONIUM, *les Muscinées dioïques, etc.) chez lesquels un même œuf donne naissance, par suite de division, à plusieurs individus. On demande des recherches expérimentales sur la question de savoir si ces individus sont toujours nécessairement de même sexe.* — Prix : 1,000 francs.

Les mémoires devront être écrits lisiblement et pourront être rédigés en français ou en flamand. Ils devront être adressés, franc de port, à M. le Secrétaire perpétuel, au Palais des Académies, avant le 1er août 1905.

DISPOSITIONS GÉNÉRALES CONCERNANT LES CONCOURS ANNUELS.

L'Académie exige la plus grande exactitude dans les citations; les auteurs auront soin, par conséquent, d'indiquer les éditions et les pages des ouvrages cités. On n'admettra que des planches manuscrites ou photographiques.

Les auteurs ne mettront point leur nom à leur ouvrage; ils y inscriront seulement une devise, qu'ils reproduiront sur un pli cacheté renfermant leur nom et leur adresse; il est défendu de faire usage d'un pseudonyme. Faute de satisfaire à ces formalités, le prix ne pourra être accordé.

Les mémoires remis après le terme prescrit et ceux dont les auteurs se feront connaître, de quelque manière que ce soit, seront exclus du concours.

L'Académie croit devoir rappeler aux concurrents que les mémoires soumis à son jugement sont et restent déposés dans ses archives. Toutefois, les auteurs peuvent en faire prendre copie, à leurs frais, en s'adressant à cet effet au Secrétaire perpétuel.

PRIX PERPÉTUELS.

—

PRIX CHARLES LEMAIRE

EN FAVEUR DE QUESTIONS RELATIVES AUX TRAVAUX PUBLICS.

(Septième période : 1er juillet 1903 au 30 juin 1905.)

Extrait du testament mystique de Mlle Lemaire, en date du 28 novembre 1890, fondant un prix à la mémoire de son frère, ancien ingénieur des ponts et chaussées :

« Je donne à l'Académie des sciences de Belgique la » somme de *vingt-cinq mille francs* pour que les revenus » en soient affectés à la formation d'un prix qui sera » décerné tous les deux ans, sous le nom de prix Charles » Lemaire, à l'auteur du meilleur mémoire publié sur » des questions relatives aux travaux publics. »

Cette donation a été acceptée pour l'Académie par arrêté royal du 28 février 1891.

En conséquence, un prix de *quatorze cents francs* est attribué, pour la septième période de ce concours, à l'auteur du meilleur mémoire répondant au but de la fondation.

Seront seuls admis les ouvrages présentés par des auteurs belges ou naturalisés. Ils devront être rédigés en français ou en flamand, et publiés en Belgique pendant la période du 1er juillet 1903 au 30 juin 1905.

Le délai pour la remise des ouvrages expirera le 30 juin 1905; ils devront être adressés, franc de port,

à M. le Secrétaire perpétuel de l'Académie, au Palais des Académies, à Bruxelles.

Le résultat du concours sera proclamé dans la séance publique de la Classe des sciences, en décembre 1905.

PRIX LOUIS MELSENS

POUR LA CHIMIE OU LA PHYSIQUE APPLIQUÉES.

Institution.

Madame Melsens, veuve de M. Louis Melsens, en son vivant membre de la Classe des sciences de l'Académie, avait inscrit dans son testament les clauses suivantes :

« Voulant réaliser ce que je considère comme un devoir sacré et pour perpétuer, autant qu'il est en mon pouvoir, le souvenir de mon mari bien-aimé Louis-Henri-Frédéric Melsens, et donner à sa mémoire un dernier témoignage d'affection et de gratitude, je donne et lègue à l'État belge, libre de droits de succession :

» 1° Pour l'Académie royale des sciences, des lettres et des beaux-arts de Belgique, une somme de quinze mille francs, dont les intérêts accumulés seraient consacrés à la fondation d'un prix Melsens.

» Dans ma pensée, ce prix sera décerné tous les quatre ans à l'auteur belge qui aura soumis au jugement de l'Académie un ouvrage remarquable se rapportant à la chimie ou à la physique appliquées. »

Ce legs a été accepté, pour l'Académie, par arrêté royal du 26 mai 1900.

Règlement.

Article premier. — Conformément aux intentions de la fondatrice, il est institué, sous la dénomination de *Prix Louis Melsens,* un prix à décerner par la Classe des sciences, tous les quatre ans, à l'ouvrage le plus remarquable se rapportant à la *chimie* ou à la *physique appliquées.*

Art. 2. — Sont seuls admis les travaux imprimés ou manuscrits, d'auteurs belges ou naturalisés, soumis au jugement de l'Académie.

Art. 3. — Ces travaux doivent être rédigés en français ou en flamand.

Art. 4. — Les travaux imprimés présentés pour un concours doivent avoir été publiés pendant la période quadriennale que comprend ce concours.

Si un ouvrage présenté, imprimé ou manuscrit, fait partie d'un travail dont le commencement a paru antérieurement, l'ensemble est admis au concours.

Toutefois, si une partie a déjà été couronnée, elle ne pourra plus être prise en considération.

Art. 5. — Le prix ne pourra pas être partagé.

Si le prix n'a pas été décerné, la Classe pourra en ajouter le montant au capital, ou majorer le prix de la période suivante, selon qu'elle le jugera utile.

Art. 6. — L'auteur d'un travail manuscrit présenté pour le concours peut se faire connaître ; sinon, il doit inscrire son nom dans un pli cacheté portant extérieurement une devise reproduite sur le manuscrit.

Art. 7. — Le prix attribué à un ouvrage manuscrit ne sera délivré à l'auteur que contre présentation d'un exemplaire imprimé de son travail.

Art. 8. — Le résultat du concours sera proclamé dans la séance publique de la Classe des sciences de l'Académie.

Art. 9. — Les périodes quadriennales commencent au 1er juillet et finissent au 30 juin de la quatrième année suivante.

Art. 10. — Les ouvrages destinés au concours doivent être adressés, franc de port, à M. le Secrétaire perpétuel de l'Académie, au Palais des Académies, avant la fin de chaque période.

(Première période : 1er juillet 1900-30 juin 1904.)

Article premier. — Cette période, commencée le 1er juillet 1900, prendra fin le 30 juin 1904.

Art. 2. — La valeur du prix Louis Melsens est fixée pour cette période à *dix-sept cent vingt* francs.

Art. 3. — Les travaux sur lesquels portera ce concours doivent être remis, franc de port, au secrétariat de l'Académie avant le 30 juin 1904.

PRIX CHARLES LAGRANGE

PHYSIQUE DU GLOBE.

Institution.

M. Charles Lagrange, directeur de la Classe des sciences pour 1900, avait adressé à l'Académie, sous la date du 30 novembre de cette année, la lettre suivante :

« Monsieur le Secrétaire perpétuel,

» J'ai l'honneur de prier l'Académie d'accepter en don un capital de dix mille francs (10,000 francs) en rentes sur l'État belge, pour fonder, au moyen des intérêts accumulés, un prix perpétuel de *Physique du Globe,* à décerner tous les quatre ans.

» *P. S.* — Dans mon intention, ce prix serait décerné au meilleur travail, mathématique ou expérimental, constituant un progrès important dans la connaissance mathématique de la Terre. Je me réserve de soumettre ultérieurement à l'Académie une rédaction plus développée, la présente lettre ayant pour objet essentiel la fondation même du prix. »

La Classe des sciences, après avoir entendu la lecture de cette lettre, dans sa séance du 2 décembre, a voté ses plus chaleureux remerciements à M. Lagrange pour cette fondation, laquelle a été acceptée, au nom de l'Académie, par un arrêté royal en date du 5 janvier 1901.

M. Charles Lagrange, invité à faire connaître les développements de sa proposition, a répondu de la manière suivante, par lettre du 13 février 1901 :

« Monsieur le Secrétaire perpétuel,

» J'ai l'honneur de vous accuser réception de votre lettre en date du 16 janvier, par laquelle vous me faites connaître qu'un arrêté royal du 5 janvier accepte, pour l'Académie, la somme de 10,000 francs, offerte par moi pour la fondation d'un prix de Physique du Globe, et par laquelle vous me demandez de procéder à la rédaction plus développée des conditions de ce concours, annoncée dans ma lettre du 30 novembre 1900.

» Je n'ai, à cet égard, qu'à reprendre les idées résumées dans cette lettre, dont l'objet essentiel était la fondation même du prix. « Dans mon intention », disais-je, « ce prix sera décerné (tous les quatre ans) au meil-» leur travail, *mathématique ou expérimental,* constituant » un progrès important dans la connaissance mathéma-» tique de la Terre. »

» Deux points sont ici en évidence : l'un a trait au caractère mathématique que devront présenter les travaux admis au concours ; l'autre concerne l'étendue de leur champ de recherches.

» Le premier point, par la mention explicite du mot « mathématique », qui embrasse tout le domaine mécanique et physique, élimine de lui-même les travaux purement statistiques sur les observations (c'est-à-dire, dans cet ordre statistique, ceux qui n'auraient pas pour résultat la démonstration d'une nouvelle loi, la découverte d'une force nouvelle, d'une relation nouvelle entre des forces connues, etc.).

» Le second point est relatif au champ des recherches ; par le terme général « connaissance mathématique de la Terre », il attribue toute l'étendue que comporte déjà l'état actuel de la science, ou que font prévoir ses progrès ultérieurs, à la notion du globe comme système mathématique organisé, notion telle que la définit, par ses deux premiers alinéas, mon discours prononcé en séance publique de la Classe des sciences, le 18 décembre 1900 ; c'est-à-dire qu'il admet au concours les travaux de sciences naturelles et de physique sociale, comprenant l'histoire, qui rattacheraient, d'une manière mathématique positive, ces branches d'une science mathématique totale de la Terre, à la Physique du Globe. »

—

Règlement.

La Classe des sciences offrira tous les quatre ans un prix de *douze cents francs* (sauf réduction motivée par la baisse du taux de l'intérêt de la rente) à l'auteur (belge ou étranger) du meilleur ouvrage, imprimé ou manuscrit, répondant aux vues du fondateur.

La *première période* de ce concours s'ouvrira le 1er janvier 1901 et sera close le 31 décembre 1904.

Pour chaque période, seront admis à concourir les travaux adressés (franc de port) à M. le Secrétaire perpétuel de l'Académie royale de Belgique, au Palais des Académies, à Bruxelles, avant le 1er janvier qui commence la période suivante du concours.

Les ouvrages imprimés devront avoir été publiés pendant les dix années qui précèdent la clôture de la période de concours. Les travaux manuscrits pourront être signés.

Dans le cas où l'auteur désirerait conserver l'anonyme, il sera tenu d'inscrire une devise sur son mémoire, devise qui sera reproduite sur l'enveloppe d'un billet cacheté faisant connaître son nom et son domicile. Il est défendu de faire usage d'un pseudonyme.

Le prix remporté par un travail manuscrit ne sera délivré que contre la présentation du premier exemplaire imprimé de ce travail.

Le résultat du concours sera proclamé dans la séance publique annuelle de la Classe des sciences.

Dans le cas où le concours demeurerait sans résultat, la Classe pourra doubler le prix de la période suivante ou augmenter le capital, selon qu'elle le jugera convenable.

PRIX DE SELYS LONGCHAMPS

POUR LA FAUNE BELGE.

Institution.

Le baron Michel-Edmond de Selys Longchamps, membre de la Classe des sciences de l'Académie, décédé à Liége le 11 décembre 1900, avait inscrit la clause suivante dans son testament :

« Je laisse à la Classe des sciences de l'Académie royale de Belgique une rente annuelle et perpétuelle de cinq cents francs à charge de l'employer à décerner des prix biennaux, triennaux ou quinquennaux à des

mémoires, publiés ou à publier, concernant la faune de Belgique. »

Cette donation a été acceptée au nom de l'Académie par arrêté royal du 18 mars 1901.

—

Règlement.

La Classe des sciences décernera tous les cinq ans un prix de 2,500 francs (sauf réduction motivée par la baisse du taux de l'intérêt de la rente) à l'auteur ou aux auteurs, belges ou étrangers, du meilleur ouvrage original, imprimé ou manuscrit, portant sur l'ensemble ou sur une partie de la faune belge.

[La Classe est d'avis que les mots « faune belge » ne doivent pas nécessairement être entendus dans le sens de « faune actuelle ». Le prix pourra être décerné à un travail traitant d'une faune antérieure à la faune actuelle, dans le cas où aucun des mémoires ayant celle-ci pour objet ne mériterait le prix.]

La première période de ce concours a été ouverte le 1er mai 1901 et sera close le 1er mai 1906.

Pour chaque période, seront admis à concourir :

1° Les travaux manuscrits adressés, franc de port, à M. le Secrétaire perpétuel de l'Académie royale de Belgique, au Palais des Académies, à Bruxelles, avant le 1er mai qui commence la période suivante du concours ;

2° Les ouvrages imprimés qui auraient été publiés pendant les dix années qui précèdent la clôture de la période du concours.

Les travaux manuscrits pourront être signés. Dans le cas où le ou les auteurs désireraient conserver l'anonymat,

ils seront tenus d'inscrire une devise sur leur mémoire, devise qui devra être reproduite sur l'enveloppe d'un billet cacheté faisant connaître leurs nom et domicile.

Le prix en aucun cas ne pourra être divisé.

La Classe des sciences nommera, pour juger ce concours, une Commission de trois membres; elle pourra désigner éventuellement, comme commissaires, des naturalistes ne faisant pas partie de l'Académie.

Le résultat du concours sera proclamé dans la séance publique annuelle de la Classe.

Dans le cas où le concours demeurerait sans résultat, la Classe pourra ou doubler le prix de la période suivante, ou augmenter le capital.

PRIX THÉOPHILE GLUGE

FONDÉ EN FAVEUR DE LA PHYSIOLOGIE.

Institution.

Par lettre datée de Nice, le 25 janvier 1902, M. John Jaffé et Mme Anna Gluge ont écrit à la Classe des sciences :

« A l'occasion du 50e anniversaire de la naissance de ma femme, nous nous sommes décidés, en mémoire et pour perpétuer le souvenir de son vénéré père, le professeur Gluge, qui a été pendant longtemps membre de l'Académie, à fonder un prix biennal de 1,000 francs, pour le meilleur travail de physiologie fait pendant les deux ans.

» Nous entendons ne mettre aucune restriction à l'attribution de ce prix, seulement nous désirons qu'il soit décerné sans distinction de nationalité ou de religion.

» Le prix devra porter la dénomination : *Prix Théophile Gluge*. Il pourra déjà être attribué cette année.

» Cette fondation a été acceptée pour l'Académie par arrêté royal du 18 mars 1902. »

Règlement.

1. Il est institué, sous le nom de *Prix Théophile Gluge*, un prix biennal de *mille francs*, à décerner à l'auteur (belge ou étranger) du meilleur travail de physiologie, manuscrit ou publié pendant les deux années précédant la date de clôture de chaque concours.

2. Les mémoires destinés au concours devront être adressés, franc de port, avant le 31 décembre de chaque année à millésime pair (1902, 1904, etc.), à M. le Secrétaire perpétuel de l'Académie, au Palais des Académies, Bruxelles.

3. Les mémoires manuscrits pourront être signés ou anonymes. Dans ce dernier cas, ils porteront une devise, qui sera répétée à l'extérieur d'un pli cacheté, faisant connaître le nom et le domicile de l'auteur.

4. Les mémoires devront être rédigés en français ou en néerlandais, ou être accompagnés d'une traduction dans une de ces langues.

5. Le résultat du concours sera proclamé dans la séance publique annuelle de la Classe des sciences.

La seconde période, 1903-1904, sera close le 31 décembre 1904.

PRIX FRANÇOIS DERUYTS.

(Première période : 1902-1906.)

Article premier. — Il est institué, sous le nom de *Prix François Deruyts*, un prix de *1,200 francs* (sauf réduction motivée par l'abaissement du taux de la rente), à décerner tous les quatre ans au savant ou au groupe savants qui aura fait faire quelque progrès à la *Géométrie supérieure synthétique ou analytique.*

Art. 2. — Sont seuls admis au concours les travaux imprimés ou manuscrits d'auteurs belges ou naturalisés, sauf l'exception prévue à l'article 7.

Art. 3. — Les travaux imprimés doivent avoir été publiés pendant la période du concours ou pendant la période précédente. Pour le premier concours, les travaux imprimés doivent avoir été publiés après le 1er janvier 1902.

Art. 4. — Le prix ne pourra pas être partagé, hors le cas où il serait décerné pour un travail fait en collaboration.

Art. 5. — L'auteur d'un travail manuscrit présenté pour le concours peut se faire connaître ; sinon, il doit inscrire son nom et son domicile dans un pli cacheté portant extérieurement une devise reproduite sur le manuscrit.

Art. 6. — Le prix attribué à un ouvrage manuscrit ne sera délivré que contre présentation d'un exemplaire imprimé du travail.

Art. 7. — Si le prix n'est pas décerné dans les conditions ci-dessus indiquées, la Classe des sciences de l'Académie pourra en employer le montant, suivant qu'elle le jugera convenable, soit à augmenter le capital de fondation, soit à établir un concours spécial sur une question de géométrie supérieure à proposer, en admettant indistinctement les auteurs belges et étrangers.

Art. 8. — Le résultat du concours sera proclamé dans la séance publique de la Classe des sciences de l'Académie.

Art. 9. — Les périodes quadriennales commencent au 1er mai 1902.

Art. 10. — Les auteurs qui désirent soumettre leurs travaux au concours doivent les adresser, franc de port, à M. le Secrétaire perpétuel de l'Académie, avant la fin de chaque période.

Le jury nommé par l'Académie pourra néanmoins comprendre dans le concours des travaux imprimés qui n'auraient pas été expressément envoyés pour y prendre part.

RAPPORTS.

La Classe décide le dépôt aux archives :

1° Sur le rapport de MM. Neuberg et Mansion, d'un travail de M. Charles Michaux (Alma; Assa. N. W. T. Canada), intitulé : *Accomplissement de la géométrie euclidienne ou de Legendre.* Livre Ier, contenant la Réforme absolue et enseignement final de la *Théorie des paral-*

lèles, en donnant la démonstration à la fois très courte, très simple et très élémentaire du célèbre postulatum d'Euclide;

2° Sur l'avis de M. Lancaster, de deux notes de M. P. Basiaux (*Baromètre à flotteur*).

—

Sur la monazite et le xénotime de Nil-Saint-Vincent (Brabant); par W. Prinz, professeur à l'Université de Bruxelles.

Rapport de M. Cesàro, premier commissaire.

« Dans ce mémoire, l'auteur s'occupe de deux minéraux de Nil-Saint-Vincent; le premier, déjà décrit par notre regretté confrère A. Renard, est étudié par l'auteur au point de vue de la comparaison de ses propriétés, et notamment de ses propriétés optiques, avec celles des monazites des autres gisements; quant au xénotime, qui est le phosphate d'yttrium, c'est M. Prinz qui vient de le découvrir dans un lot de cristaux formé en grande partie de monazite et d'anatase.

MONAZITE.

Formes observées. — La forme générale des cristaux de Nil-Saint-Vincent est celle d'une très petite tablette rhombe qu'il faut placer verticalement avec l'angle obtus vers le haut, tablettes ayant pour bases les faces $h^1 = 100$ et bordées latéralement par la zone e^m parallèle à l'axe des x, ainsi que par les faces $b^{1/2} = \bar{1}11$, tronquées largement vers le haut par $a^1 = \bar{1}01$. La figure 1 du mémoire représente ces cristaux projetés horizontalement. L'auteur

a observé les formes $h^1 = 100$, $e^2 = 012$, $e^1 = 011$, $b^{1/2} = \bar{1}11$, $b^{1/2}b^{1/4}h^1 = \bar{3}11$ et $h^3 = 210$. De mon côté, j'y ai rencontré, outre h^1, e^2, e^1 et $b^{1/2}$, les formes $m = 110$, $g^1 = 010$ et $e^{1/2} = 021$, à l'état de faces minuscules (*).

Clivages. — L'auteur n'a pas obtenu le clivage basique cité pour les autres localités; ce clivage devrait s'effectuer comme troncature droite de la petite arête e^2e^2 marquée *f* sur la figure 2 du mémoire; l'auteur a observé un clivage difficile h^1; quant au clivage $g^1 = 010$, il est très net et parfaitement visible au microscope à travers les cristaux appuyés sur le porte-objet par leur face h^1.

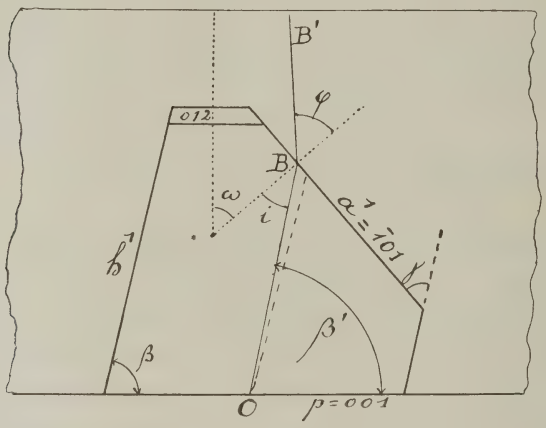
Propriétés optiques. — L'indice moyen, mesuré par la méthode de la double mise au point, a été trouvé de 1,9, un peu plus faible que dans les autres gisements. Le dichroïsme est assez sensible : pendant la rotation de la platine, la teinte s'assombrit lorsque la vibration du polariseur est parallèle à l'axe *z*, ce qui est conforme à la loi de Babinet.

Comme pour les autres localités, le plan des axes optiques est perpendiculaire au plan de symétrie et la bissectrice aiguë, qui est positive, ne fait qu'un angle d'environ 3° avec la verticale, en s'inclinant vers le spectateur. Il s'ensuit que le plan des axes optiques est presque parallèle à $h^1 = 100$.

(*) J'ai obtenu :

$$h^1 a^1_{\text{adj.}} = 53°14', \quad e^{1/2} e^{1/2}_{\text{latéral}} = 58°55'$$
$$mh^1 = 43°.$$

Les axes optiques sont très rapprochés : leur angle apparent a été trouvé d'environ 26°. M. Prinz est parvenu à obtenir une figure axiale parfaitement centrée en visant à travers la face a^1 du cristal plongé dans le baume et fixé sur le porte-objet par une face parallèle à la base.



Il est intéressant de chercher la raison de ce fait : Le rayon qui traverse le cristal suivant la bissectrice OB, rencontre la face a^1 en faisant avec la normale un angle

$$i = 90^\circ + \beta' - \beta - \gamma = 39^\circ 29' \text{ (*)};$$

si le cristal était plongé dans l'air, ce rayon n'émerge-

(*) Nous supposons la bissectrice inclinée de 3° sur la verticale, de sorte que :

$$\beta = ph^1 = 76^\circ 20', \ \beta' = 79^\circ 20', \ \gamma = a^1 h^1 = 53^\circ 31'.$$

rait pas, en subissant la réflexion totale (*); dans le baume, il émerge sous un angle donné par

$$\sin \varphi = \frac{n}{N},$$

$n = 1,549$ étant l'indice du baume, et $N = 1,946$ l'indice moyen, c'est-à-dire sous l'angle $\varphi = 53°1'$. Or, l'angle que la normale à p fait avec la normale à a^1 étant

$$\omega = 180° - (\beta + \gamma) = 50°9',$$

il s'ensuit que le rayon BB′ qui émerge du cristal dans le baume, ne fait avec la verticale qu'un petit angle de 2°52′ (qui devient de 4°26′5 dans l'air). Ainsi la figure s'apercevra avec orientation parfaite, en visant verticalement à travers $\bar{1}01$, le porte-objet étant horizontal et le cristal appliqué contre le porte-objet par une face tangente à la petite arête e^2e^2. — Cette propriété, jointe à la petitesse de l'angle axial, me semble constituer un excellent caractère distinctif de la monazite.

XÉNOTIME.

Ce minéral se présente à Nil-Saint-Vincent sous forme de très petits cristaux bruns, prisme à base carrée m combiné au quadroctaèdre b^1; le système est prouvé par les mesures goniométriques et par la figure axiale obtenue en lumière convergente, figure qui montre qu'il s'agit

(*) La figure axiale sera invisible dans l'air.

d'un uniaxe positif. Le xénotime ressemble au zircon, dont il est d'ailleurs isomorphe, vu que $mb^1 = 47°50'$ pour le zircon et 48°50′ pour le xénotime. — M. Prinz a obtenu, pour le minéral de Nil-Saint-Vincent, 48°15′ à 49°28′ pour mb^1 et 48°46′ comme moyenne des meilleures mesures; l'angle $b^1b^1_{adj.}$, qui est de 56°40′ pour le zircon et de 55°30′ pour le xénotime, a été trouvé de 55°29′ (*). Ces mesures, quoique probantes, pourraient encore faire hésiter entre le zircon et le xénotime; aussi l'auteur précise sa détermination par les moyens qui suivent :

a) Le clivage *m* est nul ou douteux dans le zircon; dans le *xénotime* ce clivage est *parfait;*

b) La dureté du zircon est de 7,5; celle du xénotime est de 4,5.

c) Le zircon est insoluble dans les acides, tandis que le minéral de Nil-Saint-Vincent s'est dissous dans l'acide sulfurique (**) et dans la solution on a constaté la présence de l'acide phosphorique et de l'yttrium.

Réfringence et biréfringence du xénotime. — Ayant reçu de M. Prinz quelques cristaux du nouveau minéral de Nil-Saint-Vincent, j'ai essayé d'ajouter quelque chose à ce sujet si intéressant, en cherchant d'autres caractères distinctifs entre le xénotime et le zircon. Le tableau qui

---

(*) De mon côté, j'ai obtenu 48°1′ à 49° et 54°32′ à 54°53′.

(**) Dana dit que le xénotime est insoluble dans les acides; il est probable qu'il veut parler des acides chlorhydrique et nitrique, car il dit que le xénotime traité par l'acide sulfurique donne une coloration à la flamme. — Des Cloizeaux dit : « lentement attaquable par l'acide sulfurique bouillant ».

suit donne les indices et la biréfringence des deux minéraux :

XÉNOTIME.	ZIRCON.		
Brésil-Des Cloizeaux.	Ceylan-Des Cloizeaux.	Ceylan.	Miask-Sanger.
$\varepsilon = 1,81$	1,97	1,968	1,993
$\omega = 1,72$	1,92	1,924	1,931
Biréfringence : $\varepsilon - \omega = 90$ (*)	50	44	62

On voit que le xénotime est beaucoup *moins réfringent* que le zircon, mais qu'il est beaucoup *plus biréfringent* que ce minéral. La détermination de l'indice moyen et de la biréfringence du minéral de Nil-Saint-Vincent donnait donc deux moyens de le distinguer du zircon.

(*) J'ai déjà fait observer que les unités à adopter dans les calculs de retards sont : le centième de millimètre pour l'épaisseur, le millième pour la biréfringence et le cent-millième de millimètre pour le retard ou pour la longueur d'onde ; de cette manière, le retard est donné, sans transformation d'unités, par le produit de l'épaisseur et de la biréfringence.

Indice de réfraction. — L'indice moyen a été déterminé par la méthode de la double mise au point; le cristal avait pour épaisseur $e = 48$ et l'épaisseur apparente était $e' = 27$, de sorte que l'indice était

$$n = \frac{e}{e'} = 1{,}78.$$

Dans les conditions où j'ai opéré, l'erreur maxima de la mesure étant d'une demi-unité, l'indice sera certainement compris entre 1,73 et 1,83 et *correspond nettement à l'indice du xénotime.* Comme vérification, j'ai répété le même essai sur un très petit cristal de zircon provenant de la Russie; j'ai obtenu : $e = 94$, $e' = 47{,}5$ et $n = 1.98$.

Biréfringence. — La biréfringence du xénotime n'a pas encore été déterminée; on sait seulement qu'elle est considérable ; d'après les indices donnés dans le tableau ci-dessus, elle serait de 90; on peut observer que ces indices ne sont donnés qu'à 1 centimètre près et que la biréfringence étant de l'ordre des millièmes, on peut seulement conclure que le nombre dont il s'agit est compris entre 81 et 99. Les petits cristaux de Nil-Saint-Vincent étant trop épais pour pouvoir être compensés, j'ai employé un petit prisme de clivage portant une face a^1 et constituant un biseau naturel ma^1 d'angle $\alpha = 48°50'$. Dans l'air ou dans l'eau par un éclairement *parallèle*, normal à m, on n'obtient pas les lignes obscures d'égal retard parallèles à l'arête du biseau, parce que les rayons qui ont traversé le petit prisme subissent la

réflexion totale sur la face de sortie a^1; dans l'huile (*) ou dans le baume, ces lignes apparaissent. On pourrait, en mettant au point successivement deux lignes de retard $k\lambda$ et $k'\lambda$, obtenir la biréfringence par la formule

$$X = \frac{k - k'}{nh} \lambda,$$

dans laquelle h est la différence des lectures faites à la vis micrométrique et n l'indice du milieu dans lequel le cristal est plongé; mais ce procédé ne réussit pas lorsque, comme dans le cas actuel, l'angle du biseau est trop grand et la biréfringence considérable : il est difficile de mettre nettement au point des plages aussi inclinées. — La méthode suivante m'a donné un résultat satisfaisant : j'ai mesuré, à l'aide du micromètre oculaire, la distance entre deux raies; la connaissance de l'angle du biseau donne la différence des épaisseurs de ce biseau aux points où ces raies se sont formées. — Pour que la lecture soit possible, j'ai introduit un compensateur soustrayant du retard au petit biseau; on obtient ainsi deux bons résultats : 1° les lignes d'égal retard quittent le voisinage de l'arête qui est grossière, montent le long du plan incliné a^1, tout en conservant le même espacement, et viennent se placer dans une partie plane et nette; 2° le champ s'éclaire et les divisions du micromètre deviennent visibles. — Cinq lignes sont devenues ainsi nettement observables; elles occupaient cinq divisions du micromètre oculaire; chaque division valant, dans les conditions de l'expérience,

(*) Un prisme ma^1 de zircon de Miask ne donnerait pas de raies, noires, dans l'huile.

$\frac{10}{17}$ de centième de millimètre, on a pour l'épaisseur : $e = \frac{10}{17} \operatorname{tg} \alpha$, et, pour la biréfringence :

$$X = 1{,}7\ \lambda \operatorname{cotg} \alpha = 82\ (*).$$

On voit que tous mes essais personnels ont confirmé la détermination faite par mon collègue. Le mémoire de M. Prinz est très important, surtout en ce qui concerne la découverte du xénotime en Belgique. Je propose à la Classe de voter l'impression de ce travail dans les *Bulletins* et d'adresser des remerciements à l'auteur. »

—

Rapport de M. C. Malaise, second commissaire.

« Le travail de M. W. Prinz est parfaitement analysé dans le rapport de M. Cesàro. Mon savant confrère y apporte des arguments nouveaux à l'appui de la détermination du xénotime, faite par M. Prinz. Il ajoute d'autres caractères distinctifs entre le xénotime et le zircon, observés avec des cristaux envoyés par l'auteur du mémoire.

J'ai l'honneur de proposer à la Classe d'adopter les conclusions du premier commissaire : impression du travail, avec les figures qui l'accompagnent, dans le *Bulletin*, et d'adresser des remerciements à l'auteur. »

Les conclusions des deux commissaires sont adoptées par la Classe.

(*) L'expérience a été faite en lumière blanche; les raies irisées sont très étroites à cause de la grandeur de l'angle du biseau et de la biréfringence; la partie qui est nette, et que l'on vise, c'est la partie la plus sombre de la raie, correspondant à l'extinction du jaune moyen, de sorte que $\lambda = 55{,}1$.

—

Recherches sur le développement embryonnaire de l'appendice du premier segment abdominal chez TENEBRIO MOLITOR ; par Maurice de Selys Longchamps.

Rapport de M. Aug. Lameere, premier commissaire.

« M. Maurice de Selys Longchamps a entrepris l'étude du développement embryonnaire d'un Insecte, *Tenebrio molitor*. Ce travail, qui peut avoir une importance considérable, se verra accueilli avec d'autant plus de faveur qu'il sera signé d'un nom cher à tout entomologiste; on doit souhaiter vivement que son auteur puisse le mener à bonne fin.

M. Maurice de Selys Longchamps présente à l'Académie un chapitre détaché de ses recherches, celui qui concerne la première paire d'appendices abdominaux.

Chacun des arceaux ventraux de l'abdomen de l'embryon des Insectes offre une paire d'appendices dans lesquels il faut certainement voir la réduction des pattes qui étaient fonctionnelles chez les formes ancestrales. Rathke, en 1844, a constaté, et divers observateurs ont pleinement confirmé le fait depuis, que la première paire de ces appendices pouvait présenter un développement inusité et acquérir une structure particulière avant de disparaître comme les autres membres abdominaux.

Les auteurs étaient en majorité d'avis que cette première paire d'appendices avait une fonction glandulaire, mais aucune explication n'avait été donnée quant à l'usage précis de ces organes embryonnaires.

M. Maurice de Selys Longchamps décrit et figure très soigneusement les caractères spéciaux offerts par ce premier appendice abdominal chez *Tenebrio molitor;* il constate, lorsque cet appendice a acquis son développement maximum et a pris une physionomie glandulaire difficile-

ment discutable, qu'il vient s'appliquer contre l'amnios; celui-ci est à ce moment de l'embryogenèse accolé à la séreuse, et cette dernière à son tour est contiguë à la coque de l'œuf. Une concavité se dessine à l'extrémité de l'appendice, qui prend l'aspect d'une ventouse : c'est alors que se produit la rupture des membranes embryonnaires, précisément à leur point de contact avec la ventouse. Celle-ci fixe l'embryon à la coque de l'œuf pendant que se constitue définitivement, aux dépens de la séreuse rompue, ce que l'on appelle l'organe dorsal; après quoi la première paire d'appendices abdominaux se résorbe comme les autres.

M. Maurice de Selys Longchamps émet l'hypothèse que cette première paire d'appendices abdominaux forme une paire de glandes embryonnaires qui provoqueraient, par leur sécrétion, une solution de continuité dans l'amnios et dans la séreuse; ensuite ces glandes serviraient à fixer l'embryon à la coque de l'œuf pour l'empêcher de prendre une orientation défectueuse entre le moment de la rupture des membranes et le moment où l'organe dorsal est complètement développé. L'auteur appuie cette manière de voir du fait que l'hypertrophie de la première paire d'appendices abdominaux n'a pas été constatée chez les Insectes dont l'embryogénie ne se complique plus de la constitution de l'organe dorsal, c'est-à-dire chez les Insectes supérieurs. Dans l'embryon des Insectes inférieurs, au contraire, nous trouverions un appendice réduit réadapté à une fonction nouvelle mais éphémère.

J'ai l'honneur de proposer l'insertion de la notice et de la planche de M. Maurice de Selys Longchamps dans les *Bulletins* de l'Académie. »

La Classe adopte ces conclusions, auxquelles s'était rallié M. Van Beneden, second commissaire.

—

Recherches sur la substitution métallique (deuxième communication); par A.-J.-J. Vandevelde et C.-E. Wasteels.

Rapport de M. W. Spring, premier commissaire.

« Les auteurs ont continué leurs recherches sur la substitution du zinc au cuivre dans certaines solutions, recherches dont ils ont déjà fait connaître les premiers résultats à l'Académie en 1902 (1). Ils se sont attachés surtout, pour le moment, à l'étude de la *vitesse* de cette substitution dans des conditions chimiques et physiques diverses. Leur travail, très riche en données d'expériences, ne se prête pas à un résumé. Tout au plus peut-on signaler que la vitesse de la substitution, surtout la vitesse initiale, dépend des matières qui accompagnent la solution du sel de cuivre : par exemple, la vitesse *initiale* diminue quand la solution cuivrique contient de l'alcool; mais après un temps assez long, on trouve que la réaction s'opère plus vite dans les solutions plus riches en alcool. Ce déplacement du maximum de la vitesse dépend, toutefois, de la *température :* il a lieu plus rapidement à froid qu'à chaud, bien que le froid diminue, d'une manière absolue, la vitesse de la réaction au début.

Il y a lieu de mentionner aussi que les auteurs ont constaté la formation de *sulfates basiques,* surtout à la fin de la réaction. Le poids de zinc dissous a été sensiblement plus grand que le poids équivalent de cuivre précipité. La raison de ce phénomène paraît se trouver

---

(1) *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique* (Classe des sciences), n° 11, pp. 795-839, 1902.

dans l'*hydrolyse* que subiraient les sulfates, hydrolyse qui a pour résultat la production d'*acide sulfurique*, qui agit, de son côté, sur le zinc.

J'ai l'honneur de proposer l'insertion de cette nouvelle communication de MM. Vandevelde et Wasteels dans le *Bulletin* de la séance. »

M. De Heen, second commissaire, déclare se rallier à cette proposition, qui est adoptée par la Classe.

—

Sur quelques réactions de sels uraneux et manganeux;
par le Dr W. Oechsner de Coninck.

Rapport de M. W. Spring.

« L'auteur a constaté que les sels uraneux et manganeux n'agissent pas à la manière des sels ferreux sur l'acide azotique; ils ne donnent pas lieu, comme ces derniers, à un dégagement de vapeurs nitreuses.

Je propose l'insertion de cette note dans le *Bulletin* de la séance. » — Adopté.

—

Sur les oxydes et sur le carbonate d'uranium;
par le Dr W. Oechsner de Coninck.

Rapport de M. W. Spring.

« Dans cette note, l'auteur fait savoir que l'oxyde uranique rouge, qu'il a obtenu il y a quelques années, se décompose plus lentement en oxyde uranium et en oxygène que l'oxyde orangé généralement connu.

Il conclut de là que l'oxyde uranique rouge est un *polymère* de l'oxyde orangé.

L'auteur a essayé de préparer le carbonate d'uranium $CO_3(UO_2)$ signalé par M. Parkmann. Il a constaté qu'en suivant le procédé de préparation donné par l'auteur, on n'obtient pas de substance de composition définie.

Je propose l'insertion de cette note dans le *Bulletin* de la séance. » — Adopté.

COMMUNICATIONS ET LECTURES.

Sur une intégrale considérée en calcul des probabilités; par P. Mansion, professeur à l'Université de Gand.

1. *Objet de la présente note.* Nous nous proposons de calculer d'une manière approximative les rapports $[(A + Q) : E]$, $[(A - P) : E]$, $[(B + P) : E]$, $[(B - Q) : E]$ considérés autrefois par Poisson (*), A, B, P, Q, E, ayant les valeurs suivantes :

$$A = \int_0^p z^m (1 - z)^n dz, \qquad B = \int_p^1 z^m (1 - z)^n dz,$$

$$P = \int_{p-l}^p z^m (1 - z)^n dz, \qquad Q = \int_p^{p+l} z^m (1 - z)^n dz,$$

$$E = \int_0^1 z^m (1 - z)^n dz.$$

On suppose m et n entiers; $m + n = \mu$; $m = \mu p$, $n = \mu q$; l est tout au plus égal à la moitié de la plus

(*) Poisson, *Probabilité des jugements*, § 88, pp. 224-228; traduction allemande de Schnuse, pp. 189-193.

petite des fractions p, q. Pour fixer les idées, nous supposerons p égal ou supérieur à q, ou m égal ou supérieur à n. D'après les hypothèses, $p + q = 1$.

2. *Valeurs approximatives préliminaires.* Nous avons démontré (*) que

$$\sqrt{1 - e^{-\frac{4}{3}T^2}} > \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^T e^{-t^2}\, dt > \sqrt{1 - e^{-T^2}},$$

$$T = l\sqrt{\frac{\mu}{2pq}}.$$

Mais pour $\alpha < 1$,

$$1 - \tfrac{1}{2}\alpha > \sqrt{1 - \alpha} > 1 - \alpha.$$

Donc

$$1 - \frac{1}{2} e^{-\frac{4}{3}T^2} > \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^T e^{-t^2}\, dt > 1 - e^{-T^2},$$

ou encore

$$e^{-T^2} > 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^T e^{-t^2}\, dt > \frac{1}{2} e^{-\frac{4}{3}T^2}.$$

Pour abréger les écritures, nous poserons, dans la suite,

$$J = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^T e^{-t^2} dt \quad \text{ou} \quad \int_0^T e^{-t^2}\, dt = \frac{1}{2}\sqrt{\pi}\, J.$$

(*) *Annales de la Société scientifique de Bruxelles*, 1888, t. XII, 1re partie, pp. 63-65. Pour la facilité du lecteur, nous reproduisons la partie essentielle de la démonstration au nº 10.

3. *Limites de* E. On a, comme l'on sait,

$$E = \frac{\Gamma(m+1)\Gamma(n+1)}{\Gamma(m+n+2)} = \frac{m!\,n!}{\mu!}\cdot\frac{1}{\mu+1}.$$

D'après la formule de Stirling,

$$\sqrt{2\pi m}\, m^m e^{-m} < m! < \sqrt{2\pi m}\, m^m e^{-m+\frac{1}{12m}},$$

$$\sqrt{2\pi n}\, n^n e^{-n} < n! < \sqrt{2\pi n}\, n^n e^{-n+\frac{1}{12n}},$$

$$\sqrt{2\pi\mu}\, \mu^\mu e^{-\mu} < \mu! < \sqrt{2\pi\mu}\, \mu^\mu e^{-\mu+\frac{1}{12\mu}}.$$

On tire aisément de là

$$\frac{\sqrt{2\pi mn}}{\sqrt{\mu}(\mu+1)}\left(\frac{m}{\mu}\right)^m\left(\frac{n}{\mu}\right)^n e^{-\frac{1}{12\mu}} < E,$$

$$E < \frac{\sqrt{2\pi mn}}{\sqrt{\mu}(\mu+1)}\left(\frac{m}{\mu}\right)^m\left(\frac{n}{\mu}\right)^n e^{\frac{1}{12m}+\frac{1}{12n}},$$

ou encore, en introduisant μp, μq au lieu de m, n,

$$\sqrt{2\pi\mu pq}\, p^{\mu p} q^{\mu q}\, \frac{1}{(\mu+1)\, e^{\frac{1}{12\mu}}} < E,$$

$$E < \sqrt{2\pi\mu pq}\, p^{\mu p} q^{\mu q}\, \frac{1}{(\mu+1)\, e^{-\frac{1}{12\mu pq}}}.$$

Or, on a d'abord

$$(\mu + 1)\varepsilon^{\frac{1}{12\mu}} < \mu + 2, \quad \text{ou} \quad \frac{1}{12\mu} < \log\left(1 + \frac{1}{\mu + 1}\right).$$

En effet,

$$\log\left(1 + \frac{1}{\mu + 1}\right) > \frac{1}{\mu + 1} - \frac{1}{2}\frac{1}{(\mu + 1)^2} > \frac{1}{\mu + 1}\left(1 - \frac{1}{2\mu}\right)$$

et, évidemment,

$$\frac{1}{\mu + 1}\left(1 - \frac{1}{2\mu}\right) > \frac{1}{12\mu}$$

ou

$$6(2\mu - 1) > \mu + 1,$$

c'est-à-dire $11\mu > 7$. — Ensuite

$$(\mu + 1)e^{-\frac{1}{12\mu pq}} > \mu\left(1 - \frac{1}{12\mu pq}\right).$$

Donc enfin

$$\frac{1}{\mu + 2}\sqrt{2\pi\mu pq}\, p^m q^n < \mathrm{E} < \frac{1}{\mu - \frac{1}{12pq}}\sqrt{2\pi\mu pq}\, p^m q^m.$$

4. *Limites de* A *et* B. 1° $\mathrm{A} > \frac{1}{2}\mathrm{E}$, $\mathrm{B} < \frac{1}{2}\mathrm{E}$. En effet, on a d'abord $\mathrm{A} + \mathrm{B} = \mathrm{E}$, ensuite, comme nous allons le prouver, $\mathrm{A} \gtreqless \mathrm{B}$.

On trouve, en faisant

$$z = p - x, \quad 1 - z = q + x,$$

$$A = \int_0^p z^m (1-z)^n \, dz \gtreqless \int_{p-q}^p z^m (1-z)^n \, dz = \int_0^q (p-x)^m (q+x)^n \, dx.$$

De même, en faisant

$$z = p + x, \quad 1 - z = q - x,$$

$$B = \int_p^1 z^m (1-z)^n \, dz = \int_0^q (p+x)^m (q-x)^n \, dx.$$

Or, on a

$$(p-x)^m (q+x)^n \gtreqless (p+x)^m (q-x)^n;$$

car cela revient à

$$\left(\frac{q+x}{q-x}\right)^n \gtreqless \left(\frac{p+x}{p-x}\right)^m,$$

ou à

$$n \log \frac{q+x}{q-x} \gtreqless m \log \frac{p+x}{p-x},$$

ou, en dérivant, à

$$n \left(\frac{1}{q+x} + \frac{1}{q-x}\right) \gtreqless m \left(\frac{1}{p+x} + \frac{1}{p-x}\right),$$

c'est-à-dire, successivement,

$$\frac{2\mu q^2}{q^2 - x^2} \gtreqless \frac{2\mu p^2}{p^2 - x^2}, \quad q^2(p^2 - x^2) \gtreqless p^2(^2 - x^2), \quad p^2 \gtreqless q^2.$$

De proche en proche, de la dernière relation, on remonte à $A > B$, sauf dans le cas où $p = q$, $m = n$; alors évidemment, $A = B = \frac{1}{2} E$.

2° *Limite inférieure de* B. On peut écrire

$$B = p^n q^m \int_0^q \left(1 + \frac{x}{p}\right)^m \left(1 - \frac{x}{q}\right)^n dx > p^m q^n B_1,$$

si l'on pose

$$B_1 = \int_0^{q-\alpha} \left(1 + \frac{x}{p}\right)^m \left(1 - \frac{x}{q}\right)^n dx,$$

α étant indéterminé. Faisons

$$\left(1 + \frac{x}{p}\right)^m \left(1 - \frac{x}{q}\right)^n = e^u,$$

ou

$$u = m \log\left(1 + \frac{x}{p}\right) + n \log\left(1 - \frac{x}{q}\right).$$

On aura

$$u' = \mu \left[\frac{1}{1 + \frac{x}{p}} - \frac{1}{1 - \frac{x}{q}}\right]$$

$$= \mu \left[1 - \frac{x}{p} + \frac{x^2}{p(p + x)} - 1 - \frac{x}{q} - \frac{x^2}{q(q - x)}\right]$$

$$= -\frac{\mu x}{pq} - \mu x^2 \left[\frac{1}{q(q - x)} - \frac{1}{p(p + x)}\right] > -\frac{\mu x}{pq} - \frac{\mu x^2}{q\alpha}.$$

Donc

$$u > -\frac{\mu x^2}{2pq} - \frac{\mu x^3}{3q\alpha}, \quad e^u > e^{-\frac{\mu x^2}{2pq}} \cdot e^{-\frac{\mu x^3}{3q\alpha}} > e^{-\frac{\mu x^2}{2pq}}\left(1 - \frac{\mu x^3}{3q\alpha}\right)$$

On déduit de là

$$\left(1 + \frac{x}{p}\right)^m \left(1 - \frac{x}{q}\right)^n = e^u > e^{-\frac{\mu x^2}{2pq}}\left(1 - \frac{\mu x^3}{3q\alpha}\right),$$

$$B_1 = \int_0^{q-\alpha} e^u dx > \int_0^{q-\alpha} e^{-\frac{\mu x^2}{2pq}} dx - \frac{\mu}{3q\alpha} \int_0^{q-\alpha} e^{-\frac{\mu x^2}{2pq}} x^3 dx,$$

et, *a fortiori*,

$$B_1 > \int_0^{q-\alpha} e^{-\frac{\mu x^2}{2pq}} dx - \frac{\mu}{3q\alpha} \int_0^{\infty} e^{-\frac{\mu x^2}{2pq}} x^3 dx.$$

Posons, dans la première intégrale du second membre,

$$\frac{\mu x^2}{2pq} = t^2, \qquad T_1 = (q - \alpha)\sqrt{\frac{\mu}{2pq}};$$

il viendra

$$\int_0^{q-\alpha} e^{-\frac{\mu x^2}{2pq}} dx = \sqrt{\frac{2pq}{\mu}} \int_0^{T_1} e^{-t^2} dt.$$

La substitution

$$\frac{\mu x^2}{2pq} = s \quad \text{ou} \quad x^2 = \frac{2pq}{\mu} s, \qquad x^3 dx = \frac{2p^2q^2}{\mu^2} s ds$$

donne ensuite

$$\int_0^\infty e^{-\frac{\mu x^2}{2pq}} x^3 dx = \frac{2p^2q^2}{\mu^2}\int_0^\infty e^{-s} s ds = \frac{2p^2q^2}{\mu^2}\Gamma(2) = \frac{2p^2q^2}{\mu^2}.$$

On a donc

$$B_1 > \sqrt{\frac{2pq}{\mu}}\int_0^{T_1} e^{-t^2} dt - \frac{2p^2q}{3\alpha\mu}.$$

Comme on dispose de α, on peut choisir, dans chaque cas, cette fraction de manière que la limite inférieure de B_1 soit la plus grande possible. Pour simplifier, nous ferons

$$3\alpha = 2p^2q \quad \text{ou} \quad \alpha = \frac{2}{3}p^2q.$$

Dans cette hypothèse, on aura

$$B_1 > \sqrt{\frac{2pq}{\mu}}\int_0^{T_1} e^{-t^2} dt - \frac{1}{\mu},$$

$$T_1 = q\left(1 - \frac{2}{3}p^2\right)\sqrt{\frac{\mu}{2pq}}.$$

On aura donc enfin

$$B > p^m q^n \left\{ \sqrt{\frac{2pq}{\mu}}\int_0^{T_1} e^{-t^2} dt - \frac{1}{\mu} \right\}$$

et, en observant, d'après le n° 2, que

$$\int_0^{T_1} e^{-t^2} dt > \frac{\sqrt{\pi}}{2}\left(1 - e^{-T_1^2}\right),$$

$$B > p^m q^n \left\{ \frac{\sqrt{2\pi\mu pq}}{\mu}\left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2}e^{-T_1^2}\right) - \frac{1}{\mu} \right\}.$$

3° *Limite supérieure de* B, *limites de* A. On a, comme on l'a vu,

$$B < \tfrac{1}{2} E < \tfrac{1}{2} \cdot \text{(limite supérieure de E)},$$
$$A > \tfrac{1}{2} E > \tfrac{1}{2} \cdot \text{(limite inférieure de E)},$$
$$A = E - B < \text{lim. sup. de E} - \text{lim. inf. de B}.$$

5. *Limites de* (B : E), (A : E). On a d'abord, sauf si $p = q$,

$$B : E < \tfrac{1}{2}, \qquad A : E > \tfrac{1}{2} \cdot$$

Ensuite

$$\frac{B}{E} > \frac{\text{limite inférieure de B}}{\text{limite supérieure de E}},$$

c'est-à-dire

$$\frac{B}{E} > \frac{p^m q^n \left\{ \frac{\sqrt{2\pi\mu pq}}{\mu}\left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2}e^{-T_1^2}\right) - \frac{1}{\mu} \right\}}{\sqrt{2\pi\mu pq}\, p^m q^n \dfrac{1}{\mu - \dfrac{1}{12pq}}}$$

$$= \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2}e^{-T_1^2}\right)\left(1 - \frac{1}{12\mu pq}\right)$$

$$- \left(1 - \frac{1}{12\mu pq}\right)\frac{1}{\sqrt{2\pi\mu pq}}.$$

On déduit de là sans peine

$$\frac{B}{E} > \frac{1}{2} - \frac{1}{2} e^{-T_1^2} - \frac{1}{24\mu pq} - \frac{1}{\sqrt{2\pi\mu pq}}.$$

Enfin

$$\frac{A}{E} = 1 - \frac{B}{E} < \frac{1}{2} + \frac{1}{2} e^{-T_1^2} + \frac{1}{24\mu pq} + \frac{1}{\sqrt{2\pi\mu pq}}.$$

6. *Limites de* Q *et* (Q : E). 1° *Limites de* Q. Posons dans Q, comme dans B,

$$z = p + x, \qquad 1 - z = q - x,$$

de manière que x varie seulement de 0 à l, l étant au plus égal à $\frac{1}{2}q$.

On aura

$$Q = p^m q^n \int_0^l \left(1 + \frac{x}{p}\right)^m \left(1 - \frac{x}{q}\right)^n dx = p^m q^n \int_0^l e^u dx.$$

La quantité

$$u' = -\frac{\mu x}{pq} - \mu x^2 \left[\frac{1}{q(q-x)} - \frac{1}{p(p+x)}\right],$$

où

$$q - x \geqq \tfrac{1}{2} q,$$

est évidemment telle que

$$-\frac{\mu x}{pq} > u' > -\frac{\mu x}{pq} - \frac{2\mu x^2}{q^2}.$$

Par suite,

$$-\frac{\mu x^2}{2pq} > u > -\frac{\mu x^2}{2pq} - \frac{2\mu x^3}{3q^2}$$

$$e^{-\frac{\mu x^2}{2pq}} > e^u > e^{-\frac{\mu x^2}{2pq}} e^{-\frac{2\mu x^3}{3q^2}} > e^{-\frac{\mu x^2}{2pq}}\left(1 - \frac{2\mu x^3}{3q^2}\right).$$

Il en résulte d'abord l'inégalité

$$Q = p^m q^n \int_0^l e^u du < p^m q^n \int_0^l e^{-\frac{\mu x^2}{2pq}} dx$$

$$= p^m q^n \sqrt{\frac{2pq}{\mu}} \int_0^T e^{-t^2} dt,$$

ou

$$Q < \frac{1}{2\mu} p^m q^n \sqrt{2\pi\mu pq}\, J.$$

On a ensuite

$$\int_0^l e^u du > \int_0^l e^{-\frac{\mu x^2}{2pq}} dx - \int_0^l e^{-\frac{\mu x^2}{2pq}} \frac{2\mu}{3q^2} x^3 dx$$

$$> \int_0^l e^{-\frac{\mu x^2}{2pq}} dx - \frac{2\mu}{3q^2} \int_0^\infty e^{-\frac{\mu x^2}{2pq}} x^3 dx,$$

ou encore,

$$\int_0^l e^u du > \sqrt{\frac{2pq}{\mu}} \int_0^T e^{-t^2} dt - \frac{2\mu}{3q^2} \cdot \frac{2p^2q^2}{\mu^2}$$

$$= \frac{1}{2\mu}\sqrt{2\pi\mu pq}\, J - \frac{4p^2}{3\mu}.$$

Donc enfin

$$Q > p^m q^n \left[\frac{1}{2\mu} \sqrt{2\pi\mu pq}\, J - \frac{4p^2}{3\mu} \right].$$

2° *Limite supérieure de* (Q : E). On a

$$\frac{Q}{E} < \frac{\text{limite supérieure de Q}}{\text{limite inférieure de E}},$$

ou

$$\frac{Q}{E} < \frac{\frac{1}{2\mu} p^m q^n \sqrt{2\pi\mu pq}\, J}{\frac{1}{\mu+2} p^m q^n \sqrt{2\pi\mu pq}} = \frac{1}{2} J \left(1 + \frac{2}{\mu}\right).$$

Mais on sait que $\frac{1}{2} J < \frac{1}{2}$. Par suite,

$$\frac{Q}{E} < \frac{1}{2} J + \frac{1}{\mu}.$$

3° *Limite inférieure de* (Q : E). On a

$$\frac{Q}{E} > \frac{\text{limite inférieure de Q}}{\text{limite supérieure de E}} = \frac{p^m q^n \left[\frac{1}{2\mu} \sqrt{2\pi\mu pq}\, J - \frac{4p^2}{3\mu} \right]}{\frac{1}{\mu - \frac{1}{12pq}} \sqrt{2\pi\mu pq}\, p^m q^m}$$

$$= \frac{1}{2} J \left(1 - \frac{1}{12\mu pq}\right) - \frac{4}{3} \frac{p^2}{\sqrt{2\pi\mu pq}} \left(1 - \frac{1}{12\mu pq}\right)$$

et, *a fortiori*,

$$\frac{Q}{E} > \frac{1}{2} J - \frac{1}{24\mu pq} - \frac{4}{3} \frac{p^2}{\sqrt{2\pi\mu pq}}.$$

7. *Limites de* P *et de* (P : E). On prouve d'abord que P surpasse Q comme on a prouvé que A surpasse B, sauf, bien entendu, si $m = n$, $p = q$, ce qui entraîne $P = Q$. On a donc

$$\frac{P}{E} > \frac{Q}{E} > \frac{1}{2}J - \frac{1}{24\mu pq} - \frac{4}{3}\frac{p^2}{\sqrt{2\pi\mu pq}}.$$

Ensuite, évidemment, $P + Q < E$, et, par suite,

$$\frac{P}{E} < 1 - \frac{Q}{E} < 1 - \text{limite inférieure de } \frac{Q}{E}.$$

Donc

$$\frac{P}{E} < 1 - \frac{1}{2}J + \frac{1}{24\mu pq} + \frac{4}{3}\frac{p^2}{\sqrt{2\pi\mu pq}}.$$

Mais, d'après une inégalité du n° 2, on a

$$1 - \tfrac{1}{2}J = 1 - J + \tfrac{1}{2}J < \tfrac{1}{2}J + e^{-T^2}.$$

Par conséquent,

$$\frac{P}{E} < \frac{1}{2}J + e^{-T^2} + \frac{1}{24\mu pq} + \frac{4}{3}\frac{p^2}{\sqrt{2\pi\mu pq}}.$$

8. *Limites de* [(P + Q) : E]. En rapprochant les résultats obtenus dans les deux derniers numéros, on trouve

$$\frac{P+Q}{E} < J + \frac{1}{\mu} + e^{-T^2} + \frac{1}{24\mu pq} + \frac{4}{3}\frac{p^2}{\sqrt{2\pi\mu pq}},$$

$$\frac{P+Q}{E} > J - \frac{1}{12\mu pq} - \frac{8}{3}\frac{p^2}{\sqrt{2\pi\mu pq}}.$$

Nous avons trouvé antérieurement, par une autre méthode (*),

$$1 > \frac{P+Q}{E} > J - \frac{7}{\mu pq}.$$

9. *Limites de l'intégrale de Poisson.* Posons, pour simplifier les écritures,

$$\varepsilon = \frac{1}{2} e^{-T_1^2} + \frac{1}{24\mu pq} + \frac{1}{\sqrt{2\pi\mu pq}}, \quad \eta = \frac{1}{24\mu pq} + \frac{4}{3}\frac{p^2}{\sqrt{2\pi\mu pq}}.$$

On aura

$$\frac{1}{2} < \frac{A}{E} < \frac{1}{2} + \varepsilon, \quad \frac{1}{2} - \varepsilon < \frac{B}{E} < \frac{1}{2},$$

$$\frac{1}{2}J - \eta < \frac{P}{E} < \frac{1}{2}J + \eta + e^{-T^2}, \quad \frac{1}{2}J - \eta < \frac{Q}{E} < \frac{1}{2}J + \frac{1}{\mu}.$$

On déduit de là

$$\frac{1}{2} + \frac{1}{2}J - \eta < \frac{A+Q}{E} < \frac{1}{2} + \frac{1}{2}J + \varepsilon + \frac{1}{\mu}, \quad . \quad . \quad . (1)$$

$$\frac{1}{2} - \frac{1}{2}J - \eta - e^{-T^2} < \frac{A-P}{E} < \frac{1}{2} - \frac{1}{2}J + \varepsilon + \eta, \quad . (2)$$

$$\frac{1}{2} + \frac{1}{2}J - \varepsilon - \eta < \frac{B+P}{E} < \frac{1}{2} + \frac{1}{2}J + \eta + e^{-T^2}, \quad . (3)$$

$$\frac{1}{2} - \frac{1}{2}J - \varepsilon - \frac{1}{\mu} < \frac{B-Q}{E} < \frac{1}{2} - \frac{1}{2}J + \eta \quad . \quad . \quad . (4)$$

(*) *Annales de la Société scientifique de Bruxelles,* 1902, t. XXVI, 2e partie, pp. 211-214.

Observons que

$$A + Q = \int_0^{p+l} z^m (1 - z)^n dz,$$

$$A - P = \int_0^{p-l} z^m (1 - z)^n dz,$$

$$B + P = \int_{p-l}^{1} z^m (1 - z)^n dz,$$

$$B - Q = \int_{p+l}^{1} z^m (1 - z)^n dz.$$

Les relations (1), (2), (3), (4) donnent sous une forme précise, dans tous les cas, la limite supérieure et la limite inférieure du rapport d'une intégrale eulérienne de première espèce *incomplète* à l'intégrale *complète* correspondante. Poisson, à l'endroit cité, donne simplement la formule approximative, sans aucune indication de limites,

$$\int_0^{\theta} z^m (1 - z)^n dz = (\tfrac{1}{2} \pm \tfrac{1}{2} J) E,$$

le signe + correspondant au cas où $\theta(m + n)$ surpasse m, le signe — à celui où $\theta(m + n)$ est inférieur à m.

10. *Démonstration des inégalités du n° 2.* Considérons les volumes V_1, V_2, V_3, situés entre trois plans rectangulaires OXY, OYZ, OZX, sous la surface ayant pour équation $\pi z = 4 e^{-x^2 - y^2}$, et projetés, V_1 suivant le carré OXPY de côté OX = OY = T, V_2 suivant le quart de cercle OXY de centre O et de rayon

$OX = OY = T$, V_3 suivant le quart de cercle Oxy de rayon $Ox = Oy = (2T : \sqrt{\pi})$, et équivalent au carré OXPY.

Le volume V_1 est évidemment supérieur à V_2 qui en est une partie. Les volumes V_1 et V_3 ont une partie commune; les parties non communes ont des bases équivalentes, mais dans ces parties non communes, les z de V_3 sont plus grands que ceux de V_1, parce que z est d'autant plus grand que $x^2 + y^2$ est plus petit. On a donc $V_1 < V_3$.

On trouve aisément, d'après les formules générales de cubature,

$$V_1 = J^2, \quad V_2 = 1 - e^{-T^2}, \quad V_3 = 1 - e^{-\frac{4T^2}{\pi}} < 1 - e^{-\frac{4}{3}T^2}$$

et, par suite,

$$1 - e^{-T^2} < J^2 < 1 - e^{-\frac{4}{3}T^2},$$

comme nous l'avons dit au n° 2.

—

Le latin sans flexion de Peano comme langue internationale auxiliaire de l'avenir; par P. Mansion, membre de l'Académie.

Trois langues ont, dans le passé, joué le rôle de langue internationale : le grec, en Orient, après les conquêtes d'Alexandre le Grand jusque bien avant dans le moyen âge; le latin, en Occident, après César jusqu'à la fin du XVIIe siècle et au delà; le français, dans une grande partie de l'Europe, au XVIIIe siècle et, dans une certaine mesure, au XIXe.

A la longue, aucune de ces langues internationales n'a pu maintenir son ascendant : le grec classique était trop difficile, le latin l'est redevenu à la Renaissance quand les érudits ont imposé aux savants l'obligation d'écrire en langage cicéronien; la prépondérance du français a disparu avec la prépondérance de la France. Aujourd'hui les grandes nations, jalouses d'exprimer ainsi leur complète autonomie, se servent de leur propre langue dans le domaine scientifique comme dans toutes les manifestations de leur vie nationale.

On ne peut donc espérer que les savants des divers pays adoptent de nos jours, comme langue internationale de la science, soit le grec ou le latin classiques, langues synthétiques dont le génie est trop opposé à celui des grandes langues modernes, soit l'une ou l'autre de ces langues modernes rivales, le français, l'allemand, l'anglais. Autrement dit, à l'avenir, il n'y aura très probablement plus de langue internationale *naturelle*, comme il y en a eu dans le passé.

II. Mais on peut espérer qu'il y en aura une *artificielle,* surtout si l'*Association internationale des Académies* prend la chose sous son patronage.

Que la création de pareille langue ne soit pas impossible, Leibniz l'a cru pendant toute sa vie; c'est ce que prouvent d'ailleurs les expériences du passé et du présent.

Le latin analytique du moyen âge, que saint Thomas d'Aquin et ses émules ont assoupli au point de lui faire exprimer toutes les subtilités de la philosophie aristotélicienne et de la théologie catholique, n'était pas le latin de Cicéron. C'était une langue en grande partie artificielle, qui, sans être la langue maternelle de personne,

était la langue savante de tout le monde. On peut en dire autant du latin botanique de Linné et de celui des anatomistes.

En 1881, le curé Schleyer a inventé de toutes pièces le *volapük*, langue synthétique, ayant une grammaire régulière mais assez compliquée et un vocabulaire artificiel difficile à apprendre; malgré ses défauts, le volapük a obtenu pendant huit ans un grand succès dans le monde commercial.

En 1887, le médecin Zamenhof a créé une autre langue internationale, l'*esperanto,* qui est en train de supplanter le volapük : l'esperanto est presque entièrement analytique, sa grammaire est simple et son vocabulaire, qui comprend tous les mots déjà internationaux, est assez facile à apprendre.

III. Mais la vraie langue internationale auxiliaire de l'avenir semble devoir être le *latin sans flexion* imaginé en 1903 par Peano. Le savant professeur de Turin, à qui l'on doit déjà un admirable système d'idéographie mathématique, est parvenu à supprimer, non seulement les désinences des cas, des nombres, des genres et des personnes, comme le voulait Leibniz, mais aussi celles des temps et des modes. Le vocabulaire est le vocabulaire latin ou néo-latin (l'ablatif pour les mots déclinables, sauf pour *qui;* l'infinitif moins la terminaison *re* ou *ri* pour les verbes); tous les mots sont invariables; la construction est celle des langues néo-latines.

Le latin sans flexion est le dernier terme d'une évolution linguistique naturelle : le moyen âge a donné au latin et, par lui, aux langues modernes une syntaxe

analytique. Peano va plus loin dans la même direction et, pour ainsi dire, il *passe à la limite;* il débarrasse complètement la vieille langue de Rome de l'héritage encombrant des désinences et en réduit ainsi la grammaire au dernier degré de simplicité.

—

Une interprétation du mécanisme de l'ion ; par P. De Heen, membre de l'Académie.

L'ion constitue la base de l'univers matériel; il faut qu'il corresponde à une conception simple, mais capable de rendre compte de tous les phénomènes qui tombent sous nos sens.

C'est le préjugé qui consiste à croire que la recherche de son mécanisme constitue une difficulté insurmontable, préjugé que tendent à enraciner les analystes, qui enraie des recherches du genre de celles que nous proposons. Ces recherches ont dans tous les cas pour résultat d'établir de la cohésion entre les faits qui paraissent les plus hétérogènes. Seule la synthèse est capable d'obtenir ce résultat. On sait qu'Amontons, qui fonda il y a deux siècles la conception cynétique des gaz, ne trouva aucune faveur auprès de ses contemporains. Il est vraisemblable qu'une évolution semblable dans le domaine de l'électricité subira la même défaveur que celle qui se rapportait uniquement à la chaleur.

Considérons l'élément rectiligne matériel auquel nous avons donné le nom de *bâtonnet*, lequel est vraisemblablement le siège du mécanisme qui donne lieu au phéno-

mène de la pesanteur et que sa rotation autour de son axe suffirait peut-être seule à expliquer.

Supposons ensuite que chacune de ses extrémités soit douée d'une fibre enroulée en hélice: l'*électron*, fibre que nous supposerons rigide et élastique comme le serait un fil d'acier trempé. L'ion vu du dessus affectera la forme *a* ou *b* (fig. 1) suivant que l'on considère une ou plusieurs hélices; vu de côté, il présentera la forme figure 2. On peut, du reste, supposer que l'ensemble soit le résultat de l'enroulement du bâtonnet lui-même.

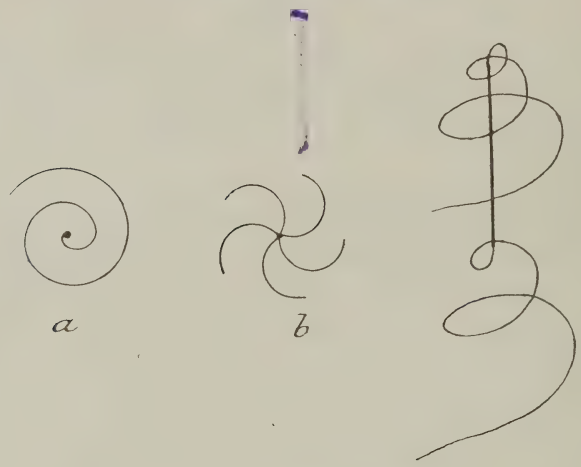


Fig. 1 et 2.

Le plus petit élément matériel affecterait donc la forme hélicoïdale, dont la trace se retrouve dans les manifestations les plus étendues que présente la nature: dans les nébuleuses. Il est aisé, à l'aide d'un semblable modèle, de reproduire les actions d'*influence* et d'*induction électrostatique*.

Actions d'influence. — Considérons une hélice *h* (fig. 3) animée d'un mouvement de rotation autour d'un axe *ab* et plongée dans un fluide auquel nous attribuerons

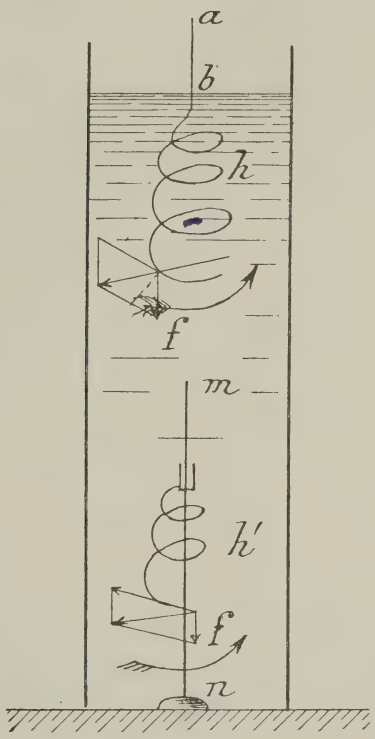


Fig. 3.

cette double propriété d'être doué d'une densité extrêmement faible et d'une très grande élasticité. Nous sup-

poserons de plus qu'à l'origine de l'expérience, les spires se trouvent *à peu près* dans le même plan et que, par exemple, la déformation soit très peu accentuée dans le sens que nous indiquons, le mouvement de rotation étant celui indiqué par la flèche. Dans ces conditions, la composante f aura pour résultat de communiquer à l'hélice une forme d'autant plus allongée que la vitesse de rotation est elle-même plus grande. Remarquons encore que si nous considérons l'enveloppe conique de cette hélice, il *tendra* à se produire une aspiration par la base et un refoulement vers le sommet.

Considérons maintenant une deuxième hélice h' pouvant tourner autour de l'axe mn et se déplacer longitudinalement suivant cet axe. Le mouvement de rotation de h ne tardera pas à se communiquer à h', laquelle subira dès lors la même déformation, et comme les mouvements giratoires s'exécutent dans le même sens, il y aura attraction, ainsi que le montrent les expériences de M. Weyher.

Tel serait le phénomène de l'influence.

On voit que si l'on considère sur une surface une série de gyrostats droits et gauches n'ayant pas de tension appréciable, les spires de l'hélice se trouvant dans le même plan, les actions opposées se font équilibre; mais si une tension dans un sens déterminé apparaît, tous les gyrostats de même sens de rotation se raccordent entre eux par l'intermédiaire de l'éther.

Il y a lieu de remarquer ici que tout ion qui possède un sens de rotation tel que cette rotation ait pour effet de communiquer à l'électron la forme plane, ne peut intervenir dans la constitution de la matière. Étant

rigoureusement neutre, il ne pourrait déterminer aucune affinité. Si donc ces ions existent, ce qui paraît vraisemblable, ils sont destinés à flotter sans cohésion dans les espaces célestes. Nous les désignerons sous le nom d'ions V.

Considérons maintenant deux gyrostats *a*, *b* (fig. 4) orientés négativement, placés l'un en face de l'autre.

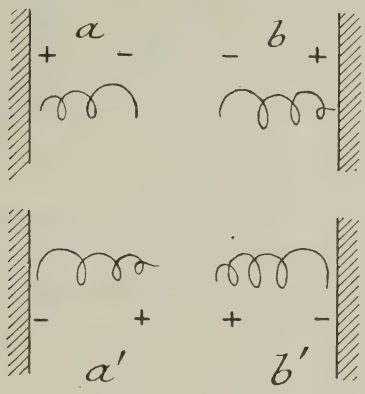


Fig. 4.

Les deux seules combinaisons possibles sont réalisées : 1° par deux gyrostats de même pas tournant en sens contraires; 2° par deux gyrostats de pas inverses tournant dans le même sens. Toute autre combinaison déterminerait l'introduction des ions V.

Dans aucun des deux cas que nous venons de considérer, les tourbillons engendrés ne peuvent se raccorder et par conséquent se repoussent, ainsi que cela se passe pour les fibres gyrostatiques des gaz.

Le même raisonnement est évidemment applicable aux électrons a', b', orientés positivement.

Il serait possible de réaliser ces conditions expérimentalement, si l'on pouvait disposer d'un fluide possédant une grande élasticité et une masse négligeable ou très petite. Mais en opérant à l'aide des fluides de grande masse dont nous disposons, c'est toujours l'action de ces masses, projetées en avant ou en arrière par le mouvement hélicoïdal, qui prédomine, alors que l'action réciproque des fibres gyrostatiques engendrées par ces mouvements est voilée par les premiers effets.

On voit du reste que si l'action de cette masse intervient, les surfaces électrisées positivement tendent à être refoulées en arrière sous l'action du mouvement de vis, alors que l'inverse tend à se produire pour la surface négative. Rappelons que c'est bien ce que nous avons montré pour le courant.

Inductions électrostatiques. — Si au lieu de considérer le fluide éthéré ou liquide dans l'impossibilité de s'écouler, ainsi que nous l'avons admis dans le phénomène électrostatique, nous lui attribuons, au contraire, cette faculté, les effets obtenus seront différents.

Considérons, en effet, l'ion a (fig. 5) animé du mouvement giratoire qui correspond à sa polarisation, c'est-à-dire à son allongement ; il se produira toujours dans ces conditions un appel du fluide dans le sens indiqué par la flèche. Le pôle négatif correspond à une aspiration, d'où il résulte que l'action de ce courant tendra à orienter l'ion b en sens contraire, et dès lors l'orientation

négative engendrera l'orientation négative, à l'opposé de ce qui se passe dans le phénomène de l'influence.

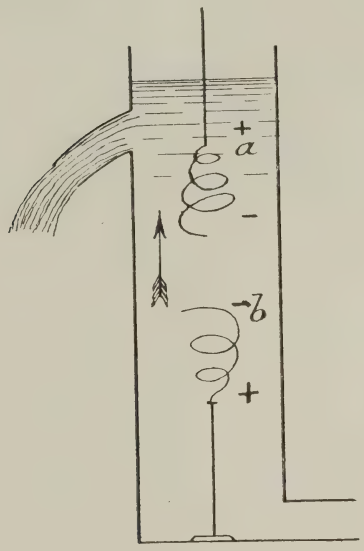


Fig. 5.

Le même phénomène se produira évidemment si, au lieu de considérer la polarité négative, on considère la polarité positive, ainsi que la figure l'indique (fig. 6).

Si les ions sont disposés sur une surface imperméable au fluide éthéré gyrostatique, nous observons le phénomène de l'*influence*. Si, au contraire, l'ion se déplace dans l'espace éthéré ainsi que cela se passe, par exemple, dans l'aigrette et dans les substances iodynamiques en général, le double mouvement de rotation et de translation déterminera le courant d'éther, c'est-à-dire l'*induc-*

tion électrostatique dont nous avons montré l'existence et qui préside au courant.

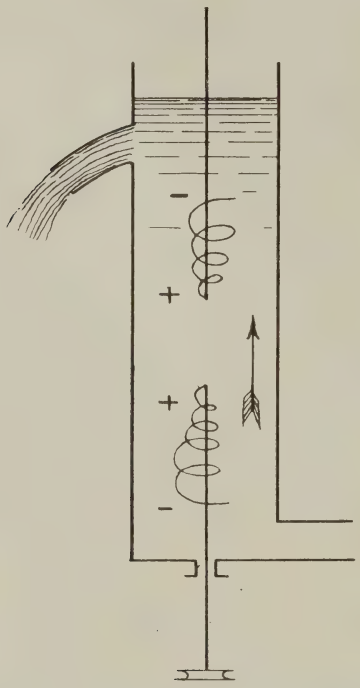


Fig. 6.

Telle est l'une des interprétations de l'action aspirante et foulante de l'ion ainsi que nous l'avons considéré. Mais peut-être ne sera-t-il pas impossible d'en fournir d'autres. C'est ainsi qu'il serait encore intéressant d'étudier la mécanique de l'électron conique formé d'éléments dont la vitesse de giration s'accroîtrait à mesure qu'on se rapproche de l'axe.

—

Le mécanisme gyrostatique de la matière dans ses divers états et le cycle évolutif de l'univers ; par P. De Heen, membre de l'Académie.

Représentons notre ion élémentaire muni de ses deux électrons par le trait pointillé α (fig. 1) et le gyrostat de deuxième ordre, tel qu'il résulte de l'observation du phénomène de Zeeman, par un trait plein Δ (fig. 2).

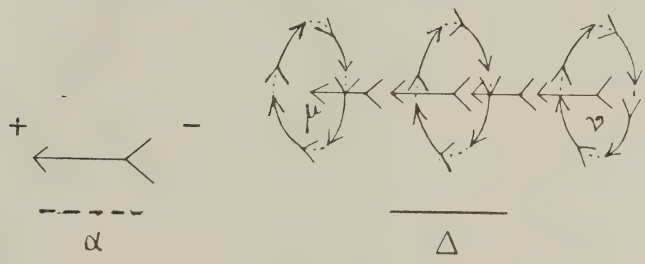


Fig. 1 et 2.

Nous pouvons, du reste, attribuer à ce gyrostat une longueur indéfinie.

Il pivote soit dans la direction du courant nominal, soit en sens contraire, comme la figure l'indique.

Mode de transmission de l'énergie d'un corps chaud à un corps froid par l'intermédiaire de l'éther ambiant.

Soit AB (fig. 3) une fibre gyrostatique matérielle en contact avec des fibres gyrostatiques *ab* de l'éther ambiant. Si la température du gyrostat AB est relative-

ment élevée, c'est-à-dire si son mouvement de giration est relativement rapide, nous pouvons concevoir que celui-ci se transmette par l'intermédiaire des fibres éthérées à un gyrostat matériel A′B′, dont la vitesse de giration est relativement lente, dont la température est relativement basse.

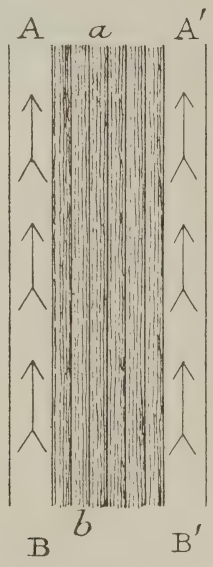


Fig. 3.

Cependant, si le mouvement de giration existe seul, l'action réciproque des gyrostats éthérés est insuffisante pour transmettre l'énergie de rotation ; nous pouvons même concevoir que cette espèce de frottement réciproque soit rigoureusement nul. Les choses se passent comme si une série de rouleaux cannelés tournaient en face les uns des autres, les parties pleines étant engagées

dans les parties évidées de manière à éviter le contact. Dans cette comparaison, les parties pleines correspondent aux fibres des tourbillons.

Mais si nous attribuons à ces cylindres un mouvement oscillatoire dans le sens de la longueur, le frottement résultant des contacts nombreux ne tardera pas à se manifester, et le mouvement de giration se transmettra.

De même si le gyrostat AB n'est pas uniquement doué d'un mouvement de rotation, mais également d'un mouvement de vibration électronique, l'énergie giratoire pourra se transmettre à A'B'. C'est la vibration qui correspond à l'onde calorifique qui est la plus propre à établir cette espèce de contact.

L'oscillation est donc le *moyen* permettant la transmission de l'énergie de giration. Ce moyen est le même, que l'on considère la propagation de la chaleur dans l'espace ou en pleine matière; la distance des éléments seule varie.

Si ce *moyen* disparaît, la substance est au zéro absolu et son énergie de giration ne peut plus se transmettre d'un point à un autre. Elle constitue ce qu'on appelle « chaleur latente ».

Les éléments matériels gyrostatiques, bien que renfermant au zéro absolu d'immenses quantités d'énergie, ne peuvent plus la communiquer soit par rayonnement, soit par conductibilité, le mouvement pulsant ayant cessé d'exister. *A partir du zéro absolu, l'énergie du système devient constante.*

On doit à M. Chippart, ingénieur français, une remarquable théorie gyrostatique de la lumière. Il est extrêmement curieux qu'en utilisant des procédés diamétralement opposés, l'analyse et la synthèse, nous abou-

tissions à la même conclusion. Ceci montre une fois de plus que s'il importe de combattre l'*esprit analyste*, l'*analyse* constitue un puissant moyen d'investigation, ainsi qu'un moyen de contrôle des vues auxquelles la synthèse nous conduit.

État gazeux. — Les fibres gyrostatiques des gaz pris sous la pression normale sont formées par les gyrostats Δ (fig. 4). Le gaz renferme un plus grand nombre de gyrostats d'espèces différentes qu'il existe de raies spectrales *observables*.

Fig. 4.

Les fibres n'étant pas au zéro absolu, étant, par conséquent, le siège de pulsations, exerceront les unes sur les autres des frottements sensibles lorsqu'elles entreront en contact : elles rebondiront les unes sur les autres de telle manière qu'une fraction déterminée de l'énergie de giration sera transformée en énergie de translation; de là réalisation de la force expansive des gaz.

Un gaz se dilate donc avec la température parce que la faculté d'embrayage ou de frottement, ou l'énergie de pulsation s'accroît avec ce facteur, et permet ainsi de communiquer soit à d'autres fibres Δ, soit aux fibres d'éther, l'excédent d'énergie de giration, communiquée par l'élévation de température au-dessus du zéro absolu.

La *pression interne* correspond à la tension des fibres Δ.

Les pulsations, en déterminant l'effet Bjerckness, tendent à écarter les ions les uns des autres dans le sens de leur longueur et à les séparer.

Si nous considérons le filament gyrostatique Δ, introduit dans un vase clos, il exercera sur les parois la pression que nous venons de définir. Mais si nous accroissons progressivement le volume de ce vase, il en résultera un accroissement de l'amplitude des mouvements de la fibre; ceux-ci, dirigés dans tous les sens, finiront par rompre celle-ci. L'équilibre sera alors rompu, des ions seront mis en liberté et rendront le milieu iodynamique, c'est-à-dire conducteur de l'électricité.

Supposons maintenant que l'on détermine une diminution de volume. Le nombre des chocs s'accroîtra, d'où accroissement d'énergie pulsante (au même titre que le diapason recevant un nombre de chocs plus répétés).

L'équilibre thermique étant maintenant rompu avec le milieu ambiant, le gaz perdra une certaine quantité d'énergie calorifique par le mécanisme indiqué.

Remarquons qu'il y a à chaque instant équilibre entre les effets dus à la translation des fibres et les effets dus aux pulsations, d'une part, qui tendent à désunir les éléments constitutifs de la fibre, c'est-à-dire à diminuer sa tension, et, d'autre part, les actions électrostatiques attractives mutuelles, qui tendent à accroître sa tension.

Si l'énergie de pulsation et de translation du gaz est telle, à une température et à une pression déterminées, que celle-ci contrebalance l'action électrostatique ou de tension de la fibre, la substance sera à l'état de gaz ou de vapeur *physiquement pure*.

Si nous accroissons la pression d'un gaz de manière à diminuer le volume, c'est-à-dire les espaces de libres parcours, une partie des fibres gyrostatiques perdront leur énergie de translation et se constitueront en tores circulaires fermés, lesquels, étant maintenus en suspension entre les fibres agitées, constitueront l'état que nous avons désigné sous le nom d'état *pseudo-gazeux*.

Remarquons que les tores *c* (fig. 5) peuvent également pivoter autour d'une droite perpendiculaire à leur axe instantané de rotation, de manière à engendrer des sphères creuses. Telle est l'image de la *molécule liquidogénique*.

Fig. 5.

Si nous accroissons suffisamment la pression, la totalité de la masse gazeuse sera composée par ces molécules et nous aurons réalisé l'*état liquide*.

Remarquons que ces sphères sont toutes tangentes les unes aux autres et à la surface du récipient qui les renferme. Cela étant, deux cas pourront se réaliser si l'on vient à accroître le volume. Si la température est suffisamment élevée, ces sphères en roulant les unes sur les autres détermineront une force expansive, et dès lors la dilatation ramènera le premier état si l'on accroît le volume de la substance. La température est alors supérieure à la température critique.

Dans le deuxième cas, lorsque le volume du gaz (vapeur

non saturée) sera suffisamment diminué, les molécules liquidogéniques formées s'envelopperont d'un réseau de fibres gyrostatiques tendues de manière à réaliser la couche superficielle. L'état liquide sera maintenant visible. Toute diminution de volume de la vapeur (vapeur saturée) ne produira pas de variation de pression, mais un accroissement du nombre des molécules liquidogéniques, de la masse du liquide. La température est alors inférieure à la température critique. L'image d'une goutte d'eau entourée de sa vapeur sera représentée par la figure 6.

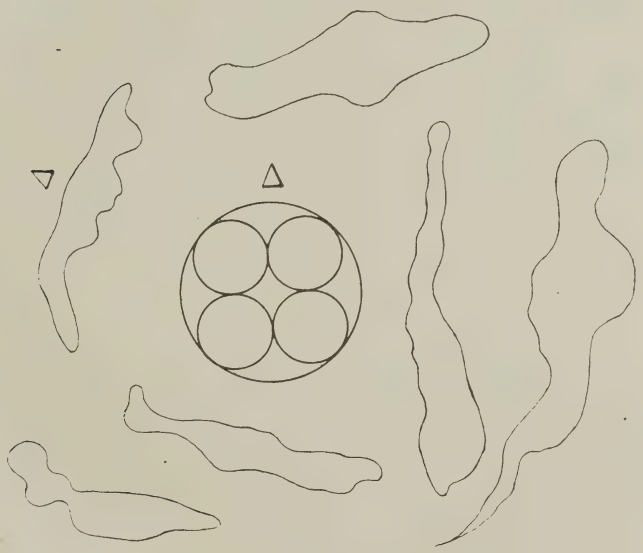


Fig. 6.

Remarquons encore que les molécules liquidogéniques roulent avec facilité les unes sur les autres.

L'énergie communiquée par les fibres gyrostatiques vibrantes de l'éther ambiant et émanant d'un corps à température plus élevée (qu'il soit dans le voisinage immédiat ou à distance), déterminera les actions suivantes sur les molécules liquidogéniques : 1° accroissement du mouvement vibratoire des ions α produisant une tendance à la *dilatation;* 2° accroissement de la vitesse de giration des tores autour de leur axe instantané, et perpendiculairement à cet axe, d'où accroissement de la force centrifuge qui tendra encore à déterminer une *dilatation;* 3° un accroissement de vitesse de giration des éléments constitutifs du tore autour de leur axe circulaire, axe des gyrostats Δ. Ici un accroissement d'énergie de rotation tend à déterminer une *contraction.* (Nous voyons les tores de vapeur se dilater à mesure qu'ils perdent de l'énergie.)

Si donc le gyrostat Δ, comparable à l'étincelle globulaire, se brise pour prendre la forme électrique, la dilatation ou la séparation des éléments de ce système se fera *avec dégagement de chaleur.* Il en est ainsi pour le radium.

Nous pouvons conclure de ceci que si la somme des deux premières actions l'emporte sur la dernière, le liquide se dilatera par suite d'un accroissement de température, ainsi que cela se passe en général; si, au contraire, la dernière de ces deux actions l'emporte sur les deux premières, le liquide se contractera, ainsi que cela se passe pour l'eau en dessous de 4°.

Les expériences d'Amagat montrent que sous des pressions relativement basses, la compression se produit avec dégagement de chaleur pour les liquides dilatables, mais

que l'inverse a lieu pour des pressions très élevées. Les choses se passent comme si les tores entraient en contact; à partir de ce moment, la variation de volume entraîne une diminution de diamètre de celui-ci, c'est-à-dire une absorption d'énergie.

Passage a l'état solide. — Si l'énergie de giration diminue, il pourra se faire que la rotation normale à l'axe instantané soit enrayée; les tores cesseront alors d'engendrer des sphères, et ils se disposeront parallèlement; cette énergie perdue se communiquera au milieu ambiant; on la désigne sous le nom de *chaleur latente de fusion*.

Nous réaliserons ainsi le système Θ (fig. 7), où la molécule *solidogénique*, dont l'axe est occupé par les gyrostats Δ, les extrémités μ et υ (fig. 2), caractérisent encore la polarité et déterminent la pyroélectricité.

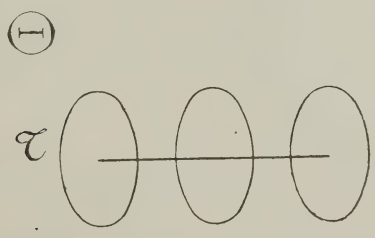


Fig. 7.

Les axes de ces systèmes coïncident avec les axes cristallographiques des cristaux qu'ils engendrent. Nous pouvons ainsi concevoir la naissance d'une nouvelle

science : la *cristallogenèse*, qui aurait pour objet l'étude des conditions d'équilibre des tores gyrostatiques.

Si un accroissement de l'énergie *gyrostatique-pulsante* survient dans l'éther ambiant, il aura d'abord pour résultat d'accroître la giration et la vitesse de pulsation des ions, et une dilatation suivant l'axe cristallographique en sera toujours la conséquence. Mais l'accroissement du mouvement giratoire des tores τ pourra amener soit une dilatation, soit une contraction. Si l'action résultant de l'accroissement de vitesse de giration autour de l'axe de la molécule *solidogénique* l'emporte, la force centrifuge déterminera une dilatation; si, au contraire, l'action résultant de la giration autour de l'axe circulaire est prédominante, il y aura contraction perpendiculairement à la direction de l'axe cristallographique.

On sait que les deux cas se réalisent dans la nature.

Nous aurons donc, en résumé, à considérer trois ordres de gyrostats : 1° le gyrostat α, dont l'orientation détermine les effets électrostatiques; 2° les gyrostats Δ, dont l'orientation correspond à l'action magnétique ; 3° les gyrostats Θ, dont l'orientation correspond à l'orientation moléculaire cristalline.

Si ces formes sont semblables, nous devons nous attendre à ce que par leur assemblage elles déterminent des formes comparables. Il est extrêmement curieux que M. A. Dobrowolski (1), membre de l'Expédition antarctique belge, après avoir constaté chez certaines masses nuageuses la texture fibreuse, ainsi que nous l'avions fait

---

(1) *Ciel et Terre*, 1902 et 1903.

remarquer pour la fumée de tabac, montre également qu'il existe des analogies entre les formes présentées par des nuages et la forme du givre : « la charpente organisée de grands espaces de condensation pourrait se répéter, en miniature et schématiquement, dans des points minuscules de condensation », dit cet observateur.

Rien ne confirme mieux l'analogie des apparences présentées par l'assemblage des gyrostats Δ ou Θ.

Les gyrostats α ne font pas exception à cette loi générale; aussi des photographies d'aigrettes exécutées par le docteur Gustave le Bon, que nous avons sous les yeux, montrent l'apparence cristalline fibreuse avec la plus grande netteté.

Lorsque les éléments α sont disposés circulairement de manière à réaliser un des tores du gyrostat Δ, ils constituent un ensemble continu qui diminue de diamètre par suite d'un accroissement de l'énergie de giration autour de l'axe circulaire. Nous devons également admettre que la giration de l'*ensemble* de ces tores autour de l'axe rectiligne détermine un entraînement d'éther, de telle manière que si on les dispose circulairement de façon à réaliser un des tores d'une molécule *solidogénique*, on obtient encore un ensemble dont le diamètre diminue lorsque la vitesse de giration autour de l'axe circulaire s'accroît.

Cet entraînement d'éther déterminé par la rotation des gyrostats Δ détermine l'attraction électromagnétique; de plus, il s'observe directement par l'enroulement des rayons cathodiques produit dans un champ magnétique.

Les fibres éthérées gyrostatiques f seraient donc entraî-

nées longitudinalement par la rotation du tore t autour de l'axe AB (fig. 8).

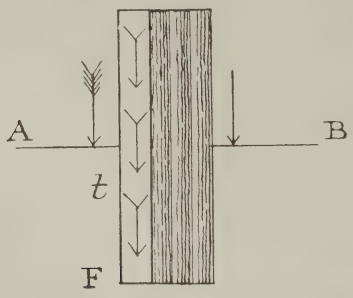


Fig. 8.

Ces mouvements gyrostatiques *longitudinaux* s'exécutent sans dépense de travail appréciable; on peut désigner le courant F (ou courant aimant) sous le nom de *courant athermique*. L'application de la loi de Joule : $Q = Kri^2$ montre que si $Q = 0$, on a $r = 0$. L'aimant ou les systèmes Δ ne dissipent pas leur énergie spontanément. Mais à ces mouvements correspondent des *forces* d'orientation de courants, d'attraction ou de répulsion, et ces forces d'orientation déterminent des travaux, si un déplacement des conducteurs les uns par rapport aux autres a pour résultat de produire une variation de tension électronique, c'est-à-dire l'*embrayage* dont nous avons parlé, la variation de vitesse de giration des fibres autour de leur axe. C'est cette variation seule qui correspond à la dissipation de l'énergie dans le milieu éthéré.

Dans les tores, qui constituent les molécules solidogéniques Θ, le mouvement de giration s'exécute perpendiculairement à la direction des courants F, il n'y a

dès lors plus entraînement d'éther. Telle est la raison pour laquelle l'orientation cristalline ne détermine pas des actions comparables à celle de l'aimant. Les tores de ces systèmes se comportent donc comme s'ils étaient indépendants, et un accroissement de vitesse de giration autour de l'axe rectiligne déterminera une dilatation et non une contraction.

Supposons maintenant que l'on considère plusieurs fibres gyrostatiques F, parallèles entre elles, exerçant les unes sur les autres un certain frottement, de telle manière que r ne soit plus nul. Ces frottements réciproques auront pour résultat de produire des vibrations électroniques, semblables à celles que l'on réalise lorsqu'une tige rend un son par suite de frictions longitudinales. Ces vibrations correspondent non seulement au phénomène calorifique, au *courant thermique*, mais les pulsations synchrones des électrons détermineront l'action répulsive réciproque, l'allongement suivant la direction du courant, et même la projection des ions, c'est-à-dire que les conducteurs parcourus par des courants deviennent radioactifs.

Nous avons, du reste, montré que tous les corps à haute température jouissent de cette propriété. On peut même concevoir qu'à une température suffisamment élevée, tout corps dégagera de la chaleur, de même que le radium. Le soleil serait dans ce cas.

Le mécanisme des substances radioactives se montre maintenant d'une manière très simple. Ces corps étant formés de gyrostats complexes, les courants F ne sont plus athermiques, d'où radioactivité et chaleur, de même que dans le courant normal.

Remarquons encore que si tous les corps incandescents

sont radioactifs, la quantité de chaleur qui a servi à élever leur température n'émane pas seulement de la source de chaleur, mais de la substance elle-même.

Si les ions α qui s'échappent d'une substance radioactive atteignent des gyrostats athermiques d'une autre substance, ils y pénètrent et y jettent le trouble de manière à provoquer les frottements et, dès lors, la *radioactivité induite*.

Les trois espèces de rayons émis par les substances radioactives se montrent à l'aide du tube à rayons canaux (fig. 9). Les ions α partent de l'anode, arrivent en

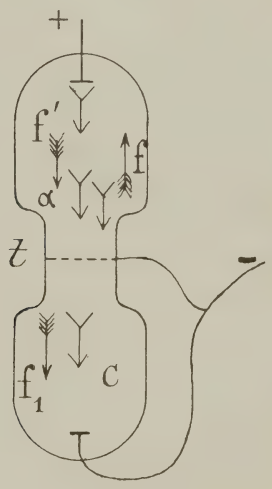


Fig. 9.

excès à la cathode t, ainsi que nous l'avons montré précédemment. C'est cet excès qui, rebroussant chemin suivant la direction de la flèche f, constitue les rayons cathodiques. Mais les espaces libres de la toile t livrent passage

à un certain nombre d'ions émanant de l'anode et se déplaçant suivant la direction f_1. Ce sont ces projections qui, dans l'espace C, constituent les *rayons canaux*.

En résumé, les ions projetés suivant la direction de la flèche f_1 (fig. 10) constituent les rayons α. Les ions projetés avec l'orientation f constituent les rayons β.

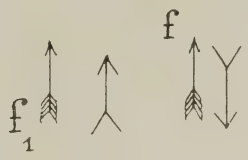


Fig. 10.

Quant aux rayons γ ou rayons X, ils sont le résultat de l'oscillation longitudinale de la fibre gyrostatique d'éther, qui constitue le prolongement des ions disposés normalement à la surface radioactive.

Cycle parcouru par l'univers. — Supposons qu'à l'origine de la formation d'une nébuleuse la substance soit formée par les ions α (fig. 1) séparés les uns des autres (fig. 11). Si ceux-ci sont animés d'une vitesse de giration

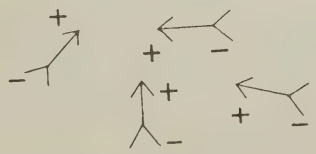


Fig. 11.

suffisante, ils ne tarderont pas à former des filaments analogues à ceux qui forment les ions Δ dans l'état gazeux

(fig. 12) et qui caractérisent un état que nous désignerons sous le nom d'état *supra-gazeux,* lequel semble correspondre avec l'émanation du radium à basse température.

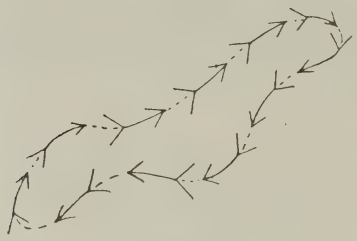


Fig. 12.

Tel est le premier noyau de condensation d'une nébuleuse spirale en formation. C'est l'image du courant électromagnétique. De plus, chaque ion se comportant comme une pompe aspirante et foulante, la réaction produite par le fluide éthéré déterminera la rotation du système en sens inverse de la direction du courant nominal. (Nous avons, du reste, montré expérimentalement cet entraînement longitudinal du courant (1).) Par suite de la rotation, celui-ci tendra à devenir circulaire.

Il est, du reste, évident que si le tourbillon éthéré émis par l'aimant ou par le courant enroule les rayons cathodiques dans un sens déterminé, la réaction développée tend constamment à déterminer la rotation de l'aimant en sens contraire.

Si une deuxième condensation analogue se forme, elle

---

(1) *Prodrome de la théorie mécanique de l'électricité,* p. 43.

tendra à se disposer parallèlement à la première, ainsi que cela se passe pour deux circuits circulaires parcourus par des courants. Et il en sera finalement ainsi de la nébuleuse tout entière, laquelle, prise dans son ensemble, peut se comparer à un immense réseau de courants concentriques et parallèles présentant la forme lenticulaire et animé d'un mouvement de rotation d'ensemble dans un sens unique.

Dans la partie centrale, les frottements pourront retarder la vitesse de la giration de manière à produire la torsion qui donne à la nébuleuse la forme spirale.

Notre globe a conservé la trace de ce *courant originel* qui a présidé à l'établissement de son mouvement de rotation, *courant dont le sens nominal est dirigé en sens inverse de cette rotation.* Remarquons, du reste, que ce courant doit tendre actuellement encore à accroître le mouvement diurne, mais très faiblement, eu égard à la grande condensation de la masse. De plus, le soleil et toutes les planètes sont parcourus par des courants de même sens.

Lorsque, par suite des causes dont nous nous sommes occupé précédemment, le soleil est le siège de perturbations violentes, le *courant originel* subit des variations qui se traduisent par la production de courants induits à la surface de notre globe et des autres planètes. Ces courants induits anormaux représentent ce que l'on appelle *tempêtes magnétiques.*

Revenons maintenant à notre masse nébulaire en rotation. Si l'ensemble de ces masses est soumis à une action de gravitation croissante à mesure qu'elles se rapprochent du centre de la nébuleuse, elles subiront une trans-

formation analogue à celle du passage de l'état gazeux à l'état solide, elles produiront l'analogue de la molécule solidogénique (fig. 7), c'est-à-dire le gyrostat Δ (fig. 2).

Pendant toute cette transformation, il n'a pu se produire une perte d'énergie dans le milieu ambiant, les vibrations calorifiques n'existant pas encore, *le système n'est pas embrayé*, le système est au zéro absolu. La totalité de l'énergie de condensation s'accumulera dans le système Δ, et cela en quantité d'autant plus grande que le volume du système deviendra plus petit (que le tore aura un moindre diamètre).

Nous réaliserons ainsi l'état gazeux proprement dit, qui sera encore à ce moment au zéro absolu, incapable de perdre son énergie (1).

Si la condensation due à la gravitation s'accentue davantage, la série des transformations connues en substances liquides et solides se produira par le mécanisme indiqué, mais le gain de travail de gravitation, cette fois, ne se limitera plus aux éléments, les vibrations électroniques apparaîtront, le système sera embrayé, et cette énergie se dissipera dans le milieu ambiant sous forme de chaleur rayonnante.

Lorsque la dernière phase de cette évolution se sera produite, ainsi que nous l'avons montré précédemment, la condensation pourra déterminer, dans les systèmes de grande masse, des pressions suffisantes pour que les systèmes Δ cessent d'être en équilibre. A ce moment,

---

(1) On peut cependant admettre que dans l'état *supra-gazeux* les électrons sont soumis à des vibrations harmoniques correspondant à une perte d'énergie extrêmement faible et déterminant la luminescence.

ils se comporteront comme l'étincelle globulaire dont l'équilibre est rompu; la matière prendra momentanément les propriétés de l'éclair (étoiles nouvelles), et la première phase sera *partiellement* reproduite, car une partie de l'énergie s'est dissipée sous forme de radiations, et le même ordre de phénomènes se reproduira. Les projections de corps qui éventuellement auront conservé l'état solide constitueront les météorites à l'état fragmentaire.

De plus, une partie des ions qui auront été ramenés à l'état de liberté (fig. 11) n'auront plus la vitesse de giration électrostatique suffisante pour reconstituer l'énergie constante de la masse *désignée sous le nom d'atome* (1).

Si donc nous admettons l'existence d'une nébuleuse placée au sein d'un espace éthéré infini, l'énergie rayonnée sera définitivement perdue, et le système, après avoir subi un certain nombre de phases de formation et d'explosions finales, finira par être ramené au repos, comme le ferait un pendule sous l'action du frottement.

Or il n'en est pas ainsi et nous pouvons faire deux hypothèses : 1° Si l'espace éthéré est limité, l'énergie en apparence dissipée par rayonnement ne sera pas perdue, mais elle sera réellement utilisée à ramener la vitesse de giration des ions à ce qu'elle était primitivement ; 2° Si l'espace est infini et peuplé d'une infinité de systèmes semblables, le résultat sera le même que dans le

---

(1) Voir *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique* (Classe des sciences), n° 3, p. 285, 1904.

premier cas, car à chaque nébuleuse sera départi un espace déterminé d'éther, et l'énergie de giration et de vibration, au lieu d'être réfléchie à la limite du système, passera d'un système à un autre, de manière à établir des compensations.

En réalité, la question qui se pose est celle-ci : Lorsque le système sera repassé à l'état qui correspond à la complète libération des ions α (fig. 11), l'énergie du système ayant diminué par rayonnement, ceux-ci ne retrouveront plus celle qui leur est nécessaire pour la reconstitution de la matière, telle que nous la concevons habituellement, c'est-à-dire des gyrostats Δ. La notion de la matière telle que nous la connaissons étant maintenant indissolublement liée avec la notion de l'énergie, il s'ensuivrait donc qu'après plusieurs conflagrations successives, le système tendrait à reprendre une phase intermédiaire entre l'éther et la phase matérielle proprement dite. Or, si l'on attribue à chaque système un espace limité d'éther, l'énergie de giration qui s'accumulerait dans celui-ci et qui se trouverait en excès, finirait par être restituée aux gyrostats α de manière à leur permettre de reconstituer la matière.

L'entropie de l'univers supposé suffisamment étendu serait donc en moyenne constante.

Ainsi se trouverait confirmée par l'étude physique de l'univers la théorie mystique du « retour éternel » déjà conçue par les philosophes grecs et soutenue dans les temps modernes par Nietzsche, Blanqui et le Dr Gustave le Bon.

—

Nouvelle conception de l'atome chimique; par P. De Heen, membre de l'Académie.

Les recherches récentes dans le domaine de la physique ne permettent plus de concevoir l'atome comme un petit corps représentant la limite naturelle de divisibilité de la matière.

La théorie que nous avons développée conduit à la même conclusion, mais elle permet de plus de définir ce que l'on doit entendre par *atome, ion électrolytique* ou *valence.*

Ainsi que nous allons le voir, ces termes ne correspondent nullement à l'idée d'un système *limité.*

Afin de faire saisir notre pensée, concevons deux gaz monoatomiques (c'est-à-dire dont la molécule se confond avec l'atome dans l'ancienne théorie); nous pouvons également les considérer comme *monovalents* pour simplifier la question. Ces gaz sont également susceptibles de se combiner.

Dans la théorie que nous admettons, supposons d'abord que chacun de ces gaz se compose de fibres gyrostatiques différentes, en nombre au moins égal au nombre de raies spectrales que ce gaz présente. Ces gyrostats ont du reste une longueur indéfinie.

Supposons ceux-ci mélangés dans la proportion indiquée par les poids atomiques. Ils possèdent chacun la même somme déterminée d'énergie de giration ou, ce qui revient au même, d'énergie de translation, puisque ces quantités sont proportionnelles. Ils exercent, de plus, à longueur égale, la même pression.

Nous dirons donc que l'atome doit se définir comme étant *la quantité d'énergie, toujours la même, que possède un volume donné d'un corps simple à l'état gazeux dans les mêmes conditions.* Nous représentons cette énergie par l'unité. Les poids atomiques sont *les poids relatifs de matière qui renferment cette énergie toujours la même.*

Cette définition correspond avec la loi de Dulong et Petit, qui en constitue la vérification.

Il résulte de ceci que la matière n'est susceptible de se combiner que par quantités d'énergies gyrostatiques égales.

Nous voyons également que si les deux gaz viennent à se combiner, les tourbillons se soudront deux à deux et le volume sera diminué de moitié. Il importe de remarquer que deux systèmes gyrostatiques soudés ne transforment pas plus d'énergie de giration en énergie de translation qu'un seul gyrostat libre, l'impulsion se communiquant de la même manière, dans les deux cas, par une seule génératrice.

Il résulte de cette considération que nous pouvons appliquer aux gaz biatomiques ou polyatomiques ce que nous venons de dire des gaz monoatomiques.

Le mécanisme de la réaction peut se concevoir de la manière suivante :

Deux gyrostats A et B (fig. 1) deviennent d'abord iodynamiques sous une influence extérieure, et dès lors les ions libérés des deux tourbillons s'emboîtent de manière à constituer une chaîne tendue intermédiaire. Sous l'action de cette tension, les deux gyrostats deviennent tangents et la combinaison est réalisée.

L'*aptitude réactionnelle* dépendra de la facilité plus ou moins grande avec laquelle l'iodynamisme s'établira.

Le corps sera électro-positif si l'orientation des ions émis correspond à celle des *rayons canaux*. Si l'orientation correspond à celle des *rayons cathodiques*, le corps sera électro-négatif.

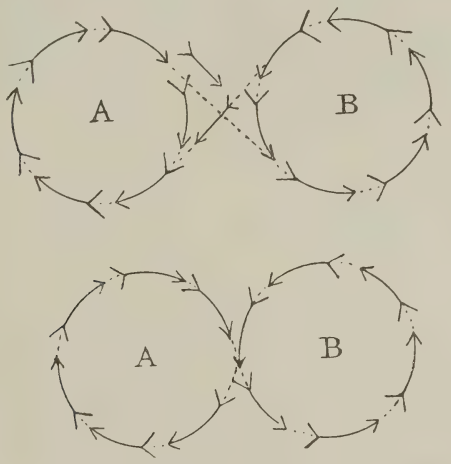


Fig. 1.

Il est facile de voir que le sens de la giration doit exercer une influence sur le sens et l'orientation des projections ioniques; les mêmes corps simples peuvent posséder des aptitudes réactionnelles différentes.

La *valence maxima* dépendra du nombre d'ions ou d'électrons renfermés dans chaque atome ou dans chaque quantité de substance qui renferme la même quantité d'énergie.

Les formules de structure conservent leur signification, et nous pouvons continuer à les représenter par la section droite des fibres gyrostatiques de longueur indéfinie qui constituent les gaz.

Considérons, par exemple, le cas simple CH_4. Si nous admettons que, toutes choses étant égales, les vapeurs de carbone et d'hydrogène renferment le même nombre de fibres, chaque fibre, après la combinaison, sera représentée par la figure 2. Si la même quantité d'énergie correspondait à un nombre de fibres double, pour le carbone, par exemple, on aurait alors la représentation figure 3, et ainsi de suite.

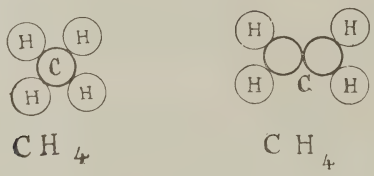


Fig. 2 et 3.

La chaîne benzine serait représentée par la figure 4, et l'on remarque que par suite de cette disposition l'atome de carbone devient réellement trivalent.

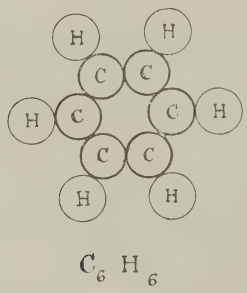


Fig. 4.

En résumé, nous voyons que le mécanisme se simplifie considérablement si l'on admet que les différents gaz

renferment, toutes choses étant égales, la même longueur de fibres simples ou composées. Ce qui se traduit par *le même nombre de molécules* dans l'ancienne théorie.

On peut démontrer qu'il en est réellement ainsi à l'aide du raisonnement élémentaire connu, et qui s'applique de la même manière que dans la théorie des gaz. Puisque l'énergie de translation est proportionnelle à l'énergie de giration, on peut écrire pour deux gaz différents :

$$P = NMV^2 = N'M'V'^2.$$

D'où, si la température est la même :

$$N = N',$$

c'est-à-dire que les deux gaz renferment la même longueur de fibres gyrostatiques.

Au lieu de concevoir l'atome comme représentant un très grand nombre de fibres gyrostatiques, nous pouvons simplifier et dire qu'il est représenté par une fibre gyrostatique unique de longueur indéfinie, mais autour de l'axe de laquelle pivotent des tores de diamètres et de tensions variables auxquels correspondent les raies spectrales.

Quant aux *fibres moléculaires*, dont l'image la plus parfaite est celle d'un câble formé lui-même par des éléments tordus, on peut également le concevoir droit et gauche. Lorsque ces fibres composées s'enroulent pour former les tores qui constituent la molécule solidogénique, nous voyons que ceux-ci dévieront à droite ou à gauche le plan de polarisation, suivant le sens de l'enroulement de la fibre.

—

Sur la décomposition de quelques sulfates acides à la suite d'une déformation mécanique; par W. Spring, membre de l'Académie.

On sait aujourd'hui que la compression n'a pas toujours pour effet de diminuer le volume des corps sur lesquels elle s'exerce : quand elle a dépassé une certaine limite, différente d'une substance à une autre, elle a, au contraire, pour suite une *dilatation* de la matière. Ce fait, que j'ai pu observer, il y a déjà longtemps (1), sur quelques substances, a été généralisé récemment par G. Kahlbaum (2).

Dans une note insérée dans le numéro de décembre dernier du *Bulletin* de l'Académie, j'ai montré que le *bismuth* fait exception à la règle générale : il ne se dilate pas sous forte compression, comme le font les autres métaux, mais il se condense de plus en plus. Si l'on fait attention que le bismuth se distingue des autres métaux par ce qu'il ne se dilate pas, comme ceux-ci, quand il entre en fusion, mais qu'il se contracte au contraire, on n'est pas éloigné de penser que le phénomène paradoxal de la dilatation d'un corps pendant sa compression est en relation étroite avec la *déformation*

---

(1) *Sur l'élasticité parfaite des corps chimiquement définis* (Bull. de l'Acad. roy. de Belgique, 3e sér., t. VI, 1883).

(2) *Physik. Zeitschrift,* p. 32, 1901, et *Abhandl. der naturf. Gesellschaft in Basel,* t. VI, p. 21.

qu'il éprouve du chef de l'action mécanique auquel il se trouve soumis.

J'ai dit, à titre d'hypothèse, dans la note rappelée plus haut, que les déformations mécaniques des corps solides provoquaient, sans doute, un changement de la structure moléculaire en ce sens qu'elles faisaient prendre au corps la formation intérieure répondant à l'*état liquide*, et cela en dehors d'une élévation notable de la température.

Si cette manière de voir est exacte, on peut s'attendre à trouver la *densité* des corps diminuée toutes les fois que l'on opère avec une matière se dilatant pendant la fusion, tandis qu'on pourra la trouver plus grande dans le cas contraire. Il m'a paru également que cette considération était de nature à fournir une explication facile de la plasticité des corps solides, ou bien aussi de leur fragilité. Les corps seraient d'autant plus plastiques, sous les fortes pressions, qu'ils prendraient plus facilement la structure moléculaire à laquelle correspond l'état liquide. Dans les cas où cette condition ne serait pas remplie, le corps se briserait dès l'instant où il ne pourrait plus résister à la déformation que lui imposent les forces mécaniques en jeu.

Cette hypothèse, qui ne s'appuyait alors que sur la particularité présentée par le bismuth comparativement aux autres métaux, demandait un contrôle complémentaire.

Je désire faire connaître aujourd'hui quelques résultats d'expériences entreprises à cette fin sur certains sels; ils contribueront peut-être à éclairer la question.

*
* *

Voici la pensée qui a servi de guide dans ces expériences.

Si la déformation mécanique d'un corps est de nature à provoquer un changement dans la structure moléculaire de celui-ci, de manière qu'une partie, au moins, du solide accuse les propriétés caractéristiques de l'état liquide, il est probable qu'en agissant sur des corps composés on constatera leur décomposition lorsque ceux-ci résulteront de la combinaison d'un *constituant solide* et d'un autre *liquide* à la température ordinaire. La décomposition pourra même s'achever d'autant plus complètement que le constituant liquide s'échappera plus facilement pendant la compression. Les corps composés qui répondent à la condition énoncée sont très nombreux.

Les cristaux renfermant de l'*eau de cristallisation* sont du nombre; il en est de même des *sulfates acides*.

Ce sont ceux-là qui ont servi de matériel pour les recherches actuelles. On peut, par exemple, regarder le sulfate acide de sodium comme renfermant, *potentiellement*, le sel neutre et l'acide sulfurique et s'attendre à ce que la déformation mécanique du corps composé réalise l'acide sulfurique à l'état liquide et l'exprime, au moins partiellement, de la masse comprimée.

On a fait usage de tous les sulfates acides alcalins, depuis celui de *lithium* jusqu'à celui de *césium*, afin de constater comment se modifie la stabilité de ces corps d'un terme à un autre de la série.

Il importe de toucher encore un point essentiel avant de passer à l'exposé des faits observés.

On se rappelle sans doute que j'ai déjà produit la décomposition de quelques corps par la seule compression (1); mais alors ces corps avaient été choisis parmi ceux dont le volume moléculaire est *plus grand* que la somme des volumes des constituants. Par exemple, le volume moléculaire de l'*hydrate de sulfure d'arsenic* ($As_2S_3.6H_2O$) est 188.2 (d'après sa densité, qui est 1.88), tandis que celui de As_2S_3 étant 71.3 et celui de l'eau 6×18 ou 108, leur somme : 179.3 est plus petite que le volume du composé. Aussi est-ce avec facilité que ce sulfure hydraté se décompose sous l'influence d'une compression hydrostatique.

Dans le cas qui nous occupe aujourd'hui, il ne s'agit plus seulement de savoir si la compression décompose les corps tels que l'hydrate de trisulfure d'arsenic, mais de vérifier si, même quand le volume moléculaire du composé est *plus petit* que la somme des volumes des composants, la compression produit un effet chimique *lorsque l'on permet à la matière de se déformer mécaniquement.*

Il ne s'agira donc plus, dans ce qui va suivre, de *compression hydrostatique simple,* mais plutôt d'un véritable *pétrissage* ou *laminage* de la matière, en un mot, du phénomène qui accompagne le *flux* (ou écoulement solide) de certains corps à l'état solide.

Pendant ce laminage des corps solides, il doit se produire une certaine élévation de température. On pourrait lui attribuer l'origine des phénomènes de décomposition

---

(1) *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique,* 3e sér., t. XII, p. 409, 1887, et t. XXX, p. 199, 1895.

que l'on va constater, mais il n'en est rien cependant. En effet, la pression a toujours été donnée lentement, par la manœuvre d'une vis, de façon à éviter les *à-coups* qui eussent produit une élévation de température locale; en outre, le compresseur étant tout en métal, devait fonctionner comme un *refroidisseur* parfait, d'autant que sa masse était infinie, pratiquement, par rapport au poids de matière comprimée, poids qui ne dépassait jamais 3 grammes. Je ne suis pas parvenu, au surplus, à enflammer de la poudre à tirer en la soumettant aux mêmes essais. On peut donc être certain que la température ne monte pas même au point de fusion du soufre.

*
* *

Nous examinerons d'abord les *volumes moléculaires* des sulfates dont nous nous sommes servis.

Nous pourrons combler, de cette façon, quelques lacunes dans la connaissance de la densité de ces corps et rectifier même une erreur, assez forte, qui se trouve reproduite dans tous les ouvrages que nous avons pu consulter, sur la densité du *sulfate acide de sodium.*

Les sulfates acides ont été préparés en fondant ensemble, à la plus basse température possible, les quantités équivalentes de sulfates neutres, purs, et d'acide sulfurique. Il s'agit donc exclusivement, pour l'instant, de sulfates acides ne renfermant pas d'eau de cristallisation.

La densité a été prise par la méthode hydrostatique, au sein de benzène pur et rapportée à l'*eau* par le calcul.

Pour rendre la comparaison plus aisée, on a réuni les résultats des observations, tant anciennes que nouvelles, dans le tableau suivant, où figurent d'ailleurs aussi les

données relatives aux *volumes moléculaires* des sulfates acides et aux volumes de leurs constituants.

Substances.	Densités admises.	Observations nouvelles.	Poids moléculaires.	Volumes moléculaires de
Li_2S_4O .	2.210 (1)	2.228	110	$2LiHSO_4 = 98.1$
$LiHSO_4$.	—	2.123	104	$Li_2SO_4 + H_2SO_4 = 102.3$
Na_2SO_4 .	2.655 (1)	—	142	$2NaHSO_4 = 98.6$
$NaHSO_4$.	2.742 (2)	2.435 à 13°	120	$Na_2SO_4 + H_2SO_4 = 106.4$
K_2SO_4. .	2.670 (1)	—	174	$2KHSO_4 = 118$
$KHSO_4$.	2.355	2.302 à 13°	136	$K_2SO_4 + H_2SO_4 = 118.1$
Rb_2SO_4 .	3.611 (2)	3.596 à 16°	266	$2RbHSO_4 = 125.8$
$RbHSO_4$.	—	2.892 à 16°	182	$Rb_2SO_4 + H_2SO_4 = 126.9$
Cs_2SO_4 .	4.243 (2)	4.250 à 16°	360	$CsHSO_4 = 136.6$
$CsHSO_4$.	—	3.352 à 16°	229	$Cs_2SO_4 + H_2SO_4 = 137.7$

N. B. Le volume moléculaire de H_2SO_4 a été calculé en prenant 1.842 pour la densité de cet acide; on a alors : 98 : 1.842 = 53.2.

Il résulte de la comparaison des nombres figurant dans la dernière colonne de ce tableau que le volume moléculaire des sulfates acides alcalins est toujours *plus petit* que la somme des volumes de leurs constituants. D'après

(1) *Tabellen von Landolt und Börnstein.*
(2) DAMMER, Suppl., pp. 460 à 468.

cela, une simple compression hydrostatique ne peut provoquer leur décomposition, et si celle-ci se produit néanmoins à la suite de déformations mécaniques, c'est que celles-ci sont de nature à atteindre la structure moléculaire. C'est ce que nous verrons dans le paragraphe suivant.

Remarquons encore que la densité généralement admise pour $NaHSO_4$, d'après les travaux de Playfair et Joule, est trop grande de plus de 10 %. En l'acceptant, on trouve pour le volume moléculaire de $NaHSO_4$, le nombre 87.6, qui est tout à fait en dehors de la norme fournie par l'ensemble des autres sels.

*
* *

Nous arrivons à présent aux résultats obtenus à la suite des *déformations mécaniques*.

Pour réaliser la déformation désirée, on a comprimé les sulfates acides dans un cylindre en acier dont le fond était percé d'un trou. La matière fluait lentement par cet orifice sitôt que la pression était assez grande. En outre, le piston compresseur a été façonné de manière à ne pas fermer absolument le cylindre; il descendait donc en quelque sorte dans la matière et la laminait fortement contre les parois du cylindre.

1. — *Sulfate acide de lithium.*

Le sel préparé par fusion, absolument sec, donne naissance, par suite de sa déformation, à de l'*acide sulfurique libre* qui s'écoule, d'une manière visible, mêlé de sel solide, par l'orifice du compresseur. On a séparé

la partie du sel qui avait flué de celle qui était restée en masse sous le piston et on a dosé le lithium dans chacune d'elles, par calcination, jusqu'à retour de la matière à l'état neutre Li_2SO_4.

On a trouvé :

	Partie qui a flué.	Partie qui n'a pas flué.	Le Li_2SO renferme	Le $LiHSO_2$ renferme
Li %	5.62	7.39	12.72	6.73

Ce résultat est frappant : le sel $LiHSO_4$ s'est partagé sous l'action de la déformation en une partie plus acide, renfermant moins de lithium que la matière première, qui s'est écoulée en partie, et une autre, moins acide, qui est restée dans le cylindre. Il est facile de calculer, à l'aide des nombres précédents, que la partie qui a flué renfermait environ 17 % d'acide sulfurique libre; elle peut se traduire, approximativement, par la formule $9LiHSO_4 . 2H_2SO_4$, qui montre mieux la proportion d'acide devenu libre.

A la suite de ce résultat, on a préparé du sulfate acide de lithium hydraté $LiHSO_4.H_2O$ en dissolvant le sel sec dans de l'acide sulfurique hydraté chaud et en laissant cristalliser la masse.

Les cristaux desséchés dans un exsiccateur ont donné 5.85 % de lithium à l'analyse, tandis que $LiHSO_4.H_2O$ en renferme, théoriquement, 5.73.

Ce sel donne abondamment un liquide acide pendant la compression. Le résidu solide resté dans le cylindre du compresseur a donné 10.8 % de lithium à l'analyse. A l'aide de ce renseignement, on calcule que ce résidu solide devait se composer de

87.43 % de Li_2SO_4, et
12.57 % de $LiHSO_4$, H_2O.

Ce sel hydraté est donc beaucoup plus *fragile* que le précédent.

Il est à supposer que si la compression pouvait s'exercer de manière que toutes les parties de la matière essayée participent à une déformation mécanique égale et suffisante, tout en permettant un écoulement complet de l'eau et de l'acide sulfurique, la décomposition s'achèverait tout à fait.

2. — *Sulfate acide de sodium.*

Le sel acide sec $NaHSO_4$, obtenu par fusion, s'est montré d'une rigidité telle qu'il n'a pas été possible de le faire fluer en exerçant même la pression la plus forte compatible avec la solidité de l'appareil. En ouvrant le cylindre du compresseur, on a trouvé un bloc de sel compact accusant un commencement de *flux* autour du piston, mais sans résultat décisif au regard de la décomposition.

On a procédé alors à la préparation de sels *hydratés*.

En soumettant à la cristallisation une solution du sel précédent dans de l'acide sulfurique additionné d'une proportion égale d'eau, on a obtenu, d'abord, de gros

prismes. Soit A ce sel. Après, il s'est formé de fines aiguilles d'un autre sel : désignons-le par B.

L'analyse de ces sels a donné :

	Sel A.	Sel B.
Na.	16.26 °/o	12.35 °/o
S	23.63 °/o	20.03 °/o

D'où l'on déduit les formules :

A = $NaHSO_4$, H_2O (qui contient Na = 16.66 °/o et S = 23.19 °/o)
B = $6NaHSO_4$, H_2SO, $16H_2O$ (qui contient Na = 12.47 °/o et S = 20.25 °/o).

La densité du sel A a été trouvée égale à 2.103 à 13°5; on en déduit pour $NaHSO_4.H_2O$ le volume moléculaire 65.6; or le volume moléculaire de $NaHSO_4$ étant 49.3 et celui de H_2O, 18, on a, pour la somme des deux, 67.3, donc la compression seule ne doit pas provoquer la décomposition de ce corps.

En soumettant ce corps aux déformations mécaniques, on constate qu'il n'y a pas de décomposition certaine, la température étant de 10°. La partie *non fluée* du sel contenait Na = 16.67 °/o contre 16.26, différence qui ne permet pas de conclure.

Mais en opérant à une température plus élevée, à 30°, la décomposition commence; le sel flué contient alors 17.25 °/o de Na, et si l'on opère à 40°, on y trouve 18.28 °/o de Na.

Le sel perd principalement son *eau d'hydratation*. Si l'on admet, par hypothèse, que celle-ci n'entraîne pas d'acide, on peut calculer que 64.5 % de la quantité d'eau possible ont été expulsés lors de la compression à 40°.

Quant au sel B, il est très fragile. Comprimé à la température du laboratoire (10° ce jour-là), il donne beaucoup de liquide acide. La masse restée dans le compresseur a fourni Na = 18.81 % à l'analyse. Comme le sel $NaHSO_4$ contient 19.17 % de Na, on peut en conclure que le sel B devient presque totalement du sulfate acide $NaHSO_4$ par la déformation. La décomposition s'arrête alors, ce qui est conforme au fait mentionné plus haut.

A titre de contrôle des résultats précédents, on a préparé un sulfate acide de sodium en saturant un mélange d'acide sulfurique et d'eau, en proportions à peu près égales, de sulfate de sodium cristallisé ($Na_2SO_4.10H_2O$) à la température de 50° environ et en laissant refroidir. Il s'est formé des cristaux dont la composition était : $5(NaHSO_4) + H_2SO_4 + 7H_2O$; en effet, on a :

	Analyse.	Calcul.
Na.	13.95	13.95
S	22.84	23.30

Ce sel perd totalement son eau quand on l'abandonne dans le vide sec, après un mois environ. Le sel restant répondait à la formule $5(NaHSO_4 + H_2SO_4)$; en effet, on trouve :

	Analyse.	Calcul.
Na.	16.83	16.47
S	27.52	27.50

Il paraît abandonner plus facilement quatre de ses molécules d'eau, car on obtient la composition suivante après quelques jours de dessiccation dans un exsiccateur, sous pression atmosphérique $5NaHSO_4.H_2SO_4.3H_2O$, car:

	Analyse.	Calcul.
Na.	15.37	15.29
S	25.62	25.63

(On trouve dans Dammer, t. II, 2, p. 161, que Brindley a déjà obtenu le sel $NaHSO_4.H_2SO_4$. Comme il l'a

formé en chauffant $NaHSO_4 + H_2SO_4$ entre 200° et 300°, il ne pouvait obtenir, naturellement, les produits hydratés dont il est fait mention ici.)

Si l'on soumet le sel à $7H_2O$ aux déformations mécaniques à la température de 40°, il y a dégagement abondant de liquide acide; la partie qui n'a pas flué était sèche en apparence; elle a donné, à l'analyse :

$$Na = 19.15\ \%$$
$$S = 26.56\ \%,$$

c'est-à-dire qu'elle représentait le $NaHSO_4$ pur; celui-ci contient, en effet :

$$Na = 19\ 16\ \%$$
$$S = 26\ 66\ \%.$$

Ainsi donc, le laminage du sel a eu pour effet de dégager complètement l'acide sulfurique et l'eau qui formaient corps avec le $NaHSO_4$; mais, ici aussi, la décomposition n'a pas été plus loin.

Enfin, si l'on opère à l'aide du sel à $3H_2O$, à la température du laboratoire (16°), il y a dégagement d'eau. La partie restée dans le compresseur renferme :

$$Na = 16.66\ \%$$
$$S = 26.84\ \%,$$

c'est-à-dire qu'on doit la regarder comme répondant à la formule $5NaHSO_4.H_2SO_4$ (voir plus haut pour la composition). Il en résulte qu'à basse température, *l'eau cède la première aux efforts mécaniques.* C'est d'ailleurs dans l'ordre des affinités.

Pour vérifier l'effet produit par une température plus élevée sur ce sel à $3H_2O$, j'ai chauffé le compresseur à 80°. Pendant le travail mécanique, il s'est écoulé beaucoup de liquide acide. Le résidu demeuré dans l'appareil renfermait :

$$Na = 19.20$$
$$S = 24\ 40.$$

Ces nombres se rapprochent beaucoup de ceux que demande la formule $NaHSO_4$, savoir Na = 19.16 et S = 26.66, mais le *défaut* de S engage à calculer le rapport atomique $\frac{S}{Na}$ qui est naturellement l'*unité* dans $NaHSO_4$. On trouve :

$$\begin{matrix} 19\ 20 : 23 = 0.835 \\ 24\ 40 : 32 = 0.762 \end{matrix} \text{ d'où : } \frac{0.762}{0\ 835} = 0.912 = \frac{S}{Na}.$$

Le rapport étant plus petit que l'unité d'une grandeur dépassant de beaucoup les erreurs possibles dans un dosage si simple que celui de Na et du S, on en doit conclure qu'une certaine proportion de $NaHSO_4$ a dû passer à l'état de Na_2SO_4, très approximativement en quantité telle que le produit final devrait avoir une composition donnant 11Na pour 10S, car $\frac{10}{11} = 0.909$; ce qui se traduirait par la formule : $Na_2SO_4 + 9NaHSO_4$. En un mot, à une température plus élevée, il n'y a pas que le H_2SO_4 combiné à $NaHSO_4$ qui cède, mais le $NaHSO_4$ lui-même commence à se disloquer sous l'influence des efforts mécaniques. Il est probable qu'en opérant à une température plus élevée encore, les résultats seraient aussi plus complets et que l'on arriverait à dégager tout l'acide sulfurique contenu, en puissance, dans le sulfate acide de sodium.

3. — *Sulfates acides de potassium, de rubidium, de césium.*

La stabilité, ou la solidité, de ces sulfates est telle qu'aucun d'eux ne se décompose sous les efforts mécaniques, même quand on opère à une température peu différente de 100°. Ce résultat négatif est à rapprocher du fait que ces sulfates acides se décomposent bien plus difficilement que les précédents sous l'influence de la chaleur. Il paraît donc exister une certaine connexion entre la stabilité chimique et la *stabilité mécanique.*

On a préparé aussi du sulfate de potassium renfermant une proportion plus grande d'acide libre, en dissolvant le sel $KHSO_4$ dans de l'acide sulfurique chaud, dilué d'eau, et laissant ensuite cristalliser par refroidissement.

Il s'est formé des aiguilles cristallines dont la composition peut être exprimée par la formule $2KHSO_4 3H_2SO$ $3\frac{1}{2}H_2O$, car on a :

	Analyse.	Calcul.
K	12.30	12.30
S	25.36	25.43

Ce sel n'a pas résisté aux efforts mécaniques, non plus

que les sels de sodium analogues dont il a été question. A la température ordinaire déjà, il s'est dégagé beaucoup de liquide. Le corps solide resté dans le compresseur avait approximativement la composition $KHSO_4$, H_2SO_4, H_2O, car on a :

	Trouvé.	Calculé.
K.	14.77	15.14
S.	25.12	25.39

On voit donc qu'une quantité notable d'acide sulfurique est devenue libre pendant le travail mécanique.

On n'a pas préparé de sels plus acides avec les sulfates de rubidium et de césium.

*
* *

En vue de vérifier plus complètement encore la part qui revient à la déformation mécanique de la matière dans les phénomènes précédents, on a soumis à la compression seule d'abord, et ensuite à la déformation, des mélanges intimes de sulfate acide de sodium sec avec divers oxydes basiques : PbO, CuO, HgO, Ag_2O, également secs.

Pour réaliser la compression simple, sans déformation mécanique notable, on a enserré la poudre des mélanges

à examiner, dans le cylindre du compresseur, entre deux petits pistons de cuivre bien ajustés. Ces pistons, s'écrasant encore sous l'action de la pression, fermaient le cylindre d'une manière complète et empêchaient un laminage un peu notable de la matière.

Dans ces conditions, les poudres employées sont devenues des cylindres compacts, très solides, mais sans apparence de réaction chimique. La grande solidité de ces cylindres fait cependant présumer qu'une réaction peut avoir eu lieu à la surface des grains sans avoir gagné la profondeur. La preuve en est que la couleur du mélange n'a pas changé.

Par exemple, le mélange $2NaHSO_4 + CuO$ est noir et il est resté noir après la compression, tandis que les produits de la réaction : $Na_2SO_4 + CuSO_4 + H_2O$, sont blancs ou peu s'en faut.

Tout autre est le résultat quand une déformation mécanique accompagne la compression. Alors la couleur du mélange change rapidement et la réaction s'achève au point que la neutralisation du sel acide a lieu totalement.

On peut constater ces faits plus simplement encore. Il suffit de broyer énergiquement le sulfate acide de sodium et l'oxyde de cuivre dans un mortier en agate pour voir la couleur foncée de la poudre primitive devenir plus claire et la réaction s'achever lentement au point que toute la matière peut être dissoute dans l'eau sans qu'il demeure de résidu de CuO. L'eau produite pendant la réaction paraît se combiner aux sels à mesure de sa formation, car le produit final est sec et blanc; il ne perd que très peu de son poids quand on l'abandonne dans un exsiccateur.

*
* *

Résumé et conclusions.

Il résulte de ce qui précède que les sulfates acides des métaux alcalins ne résistent pas tous, chimiquement, à une déformation mécanique. Ceux qui dérivent du lithium et du sodium, et surtout les sulfates renfermant une plus grande proportion moléculaire d'acide sulfurique et d'eau d'hydratation, se décomposent alors de manière à abandonner une grande partie de leur eau et une quantité assez notable d'acide sulfurique pour qu'il y ait même production d'une certaine quantité de sulfate neutre. Les sulfates dérivant des métaux alcalins de poids atomique plus élevé résistent à la décomposition, du moins dans les conditions de température et de pression qui ont été réalisées.

La décomposition dont il s'agit ici n'est pas la conséquence immédiate de la compression, c'est-à-dire de la simple diminution de volume provoquée par la pression, mais elle est le résultat du *laminage* ou du *pétrissage* de la matière.

Il résulte donc de là que la *déformation mécanique* peut produire la décomposition de certains corps ; elle semble agir alors à la manière d'une élévation de la température et peut remplacer complètement celle-ci. Un corps solide résiste d'autant mieux à la décomposition par déformation, dans un groupe donné de substances, qu'il est plus réfractaire à l'action de la chaleur. Il est à remarquer aussi que les combinaisons dites *moléculaires* paraissent résister moins bien aux déformations mécaniques que les combinaisons *atomiques* proprement dites. Si cette obser-

vation se vérifie par la suite, il y aura sans doute lieu de faire une distinction *mécanique* réelle de ces deux ordres de combinaisons.

La cause de cette décomposition *mécanique* trouve une explication aisée si l'on admet (1) que, pendant sa déformation mécanique forcée, le corps solide peut prendre l'état moléculaire dans lequel le frottement intérieur est plus faible, en d'autres termes, qu'il passe alors à un état de *pseudo-fusion* ou *pseudo-liquéfaction*, en tout ou en partie, de même que, dans d'autres circonstances, la compression favorise le passage d'un état allotropique à un autre. Alors il est concevable que les corps composés susceptibles de donner naissance, par changement de structure moléculaire, à des corps liquides véritablement, à la température de l'expérience, ne passent pas seulement à un état de *pseudo-liquéfaction*, mais qu'ils se décomposent dans leurs constituants au moins pendant toute la durée de l'acte mécanique. Si, par les dispositions prises, on permet à la partie liquide de se dégager, le phénomène pourra être constaté; dans le cas contraire, il échappera généralement à l'observation.

Cette décomposition des corps solides par voie de laminage ou d'écoulement, à la température ordinaire, peut nous éclairer sur certains phénomènes de métamorphisme fréquemment observés en géologie, pour l'explication desquels on a été obligé de recourir à l'hypothèse, souvent peu probable, d'une élévation locale de la tempé-

---

(1) Voir ma note *Sur la diminution de densité des corps par compression* (Loc. cit.).

rature. Il arrive parfois, on le sait, que la composition des roches n'est pas la même dans les parties qui portent les marques d'un flux ou d'un écoulement. On trouve là des minéraux microscopiques dont l'origine n'est pas claire. Il est permis de se demander si leur formation ne rentre pas dans l'ordre des faits qui viennent d'être touchés, et si l'écorce terrestre n'a pas été le siège d'un vaste travail *mécanico-chimique* qui a éliminé, ou transformé, les corps qu'elle renfermait à l'origine, de telle sorte qu'il ne subsiste plus aujourd'hui que ceux dont la stabilité mécanique a pu triompher des efforts de destruction auxquels ils se trouvaient soumis.

Je me propose de compléter ces recherches.

Liége, Institut de chimie générale, mars 1904.

—

Sur de nouveaux termes du second ordre provenant du mouvement systématique ; par F. Folie, membre de l'Académie.

Les astronomes ne s'occupent nullement, dans leurs réductions, de l'influence du mouvement systématique, qu'ils se bornent à faire rentrer dans la correction du lieu moyen de l'étoile. Ce n'est exact que s'il s'agit du lieu moyen pour une époque déterminée ; ce ne l'est plus pour une époque qui diffère d'un certain nombre d'années de la première, du moins quand la déclinaison de l'étoile est assez forte.

Quant au lieu apparent, il est affecté de l'aberration systématique, laquelle aussi peut varier, dans les mêmes conditions, d'une manière sensible.

Dans ma *Revision des constantes de l'astronomie stellaire*, j'ai signalé des termes périodiques assez importants provenant de l'aberration systématique; je viens de trouver d'autres termes qui ne sont nullement négligeables; j'en avais soupçonné l'existence (*), mais sans en développer les calculs quant au mouvement systématique.

Occupons-nous d'abord du lieu moyen.

En vertu du mouvement systématique, l'ascension droite de l'étoile éprouve une variation

$$M = -\varpi' \sec \delta \sin (A' - \alpha),$$

qui est constante aussi longtemps que A', α et δ ne varient pas sensiblement, et fort difficile à évaluer parce que nous ne connaissons exactement ni A' ni ϖ'.

A' est l'ascension droite de l'Apex, ϖ' le produit de la parallaxe de l'étoile par le rapport de la vitesse systématique *réduite* au rayon de l'orbite terrestre. Or les coordonnées A', α et δ varient en vertu de la précession. La quantité M variera donc de

$$\Delta M = \varpi' \sec \delta \left\{ \cos (A' - \alpha) \Delta\alpha' - \sin (A' - \alpha) \operatorname{tg} \delta \, \Delta\delta \right\},$$

si l'on néglige le terme insignifiant provenant de $\Delta A'$.

(*) *Revision des constantes, etc.*, p. 105.

Pour la polaire, on pourra prendre

$$\varpi' = 0''.2,\ A' - \alpha = 240^\circ,$$

et l'on a actuellement

$$\Delta\alpha = 24^s,\ \Delta\delta = 18''.84\,;$$

d'où, en secondes de temps,

$$\Delta M = 0^s.0018.$$

Telle est la quantité dont varie annuellement l'ascension droite de la polaire en vertu du mouvement systématique. Ce dernier ne peut donc être négligé dans une recherche correcte de la constante de la précession.

Passons maintenant au lieu apparent.

Celui-ci est affecté de l'aberration systématique, qui se traduit en ascension droite par

$$A_\alpha = -k' \sec\delta \sin(A' - \alpha);$$

k' est la constante *réduite* de l'aberration systématique, évaluée à cinq secondes environ.

Cette aberration est constante pour autant que A', α et δ le soient. Mais la précession et la nutation font varier ces coordonnées et produisent par suite une variation de l'aberration systématique donnée par

$$\Delta A_\alpha = -k' \sec\delta \left\{ \cos(A' - \alpha)\,\Delta(A' - \alpha) + \sin(A' - \alpha)\,\mathrm{tg}\,\delta\,\Delta\delta \right\},$$

qui peut s'élever, pour la polaire, quant à la précession à

$$0^s.045,$$

et, quant à la nutation nodale, à

$$\pm\, 0^s.026 \text{ selon que } ☊ = 104^\circ \text{ ou } 284^\circ.$$

Cette quantité ne peut pas être négligée dans une réduction précise, ni surtout dans la recherche de la constante de la nutation au moyen des ascensions droites de la polaire.

Mais pour la déterminer exactement, il faudrait connaître mieux la grandeur et la direction du mouvement systématique (*).

Je suis occupé, en ce moment, à déterminer ces éléments, non par estime, comme il a été fait jusqu'à ce jour, mais par un calcul direct; et ce sont mes réflexions sur ce sujet qui m'ont amené à rédiger la présente note.

(*) Lorsque O. Struve a émis, le premier. l'idée que chaque étoile éprouve une aberration systématique qui deviendra seulement sensible quand son lieu aura sensiblement changé, en vertu de la précession et de son mouvement propre, relativement à la direction du mouvement du Soleil, il ne s'attendait certes pas à ce que la nutation elle-même pût faire varier sensiblement l'aberration systématique d'une étoile.

—

Sur la monazite et le xénotime de Nil-Saint-Vincent (Brabant); par W. Prinz, professeur à l'Université de Bruxelles.

La monazite de Nil-Saint-Vincent, qui a été autrefois déterminée par A. Renard dans nos préparations, fut, de la part de ce savant, l'objet d'une notice préliminaire établissant surtout les caractères chimiques de cet intéressant minéral (*); M. A. Franck en a ensuite donné une étude cristallographique complète et a représenté l'aspect habituel des cristaux bien développés par une excellente figure (**). On pourrait ajouter à cette dernière, dans la zône prismatique, la face *l* (210) de Kokscharow, que nous avons plusieurs fois observée. M. Cesàro a également décrit et figuré un bon cristal de la même localité (***).

Depuis que la monazite est utilisée dans l'industrie (éclairage par incandescence), de nombreux gisements de ce minéral sont exploités et ses propriétés sont mieux connues. Néanmoins, les bons cristaux restent rares et leurs caractères optiques notamment ne sont pas encore établis sur des données nombreuses. A Nil, il en a été de même : parmi les centaines de cristaux qui ont passé sous nos yeux, nous n'en avons trouvé que bien peu dont l'examen précis ait été possible. Et pour ceux-là encore, certaines difficultés s'opposent à une étude complète. Outre leur petitesse, — ils n'ont pas 1 millimètre

(*) *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique,* 3e sér., t. II, 1881.
(**) *Idem,* 3e sér., t. XXI, 1891.
(***) *Mém. de l'Acad. roy. de Belgique,* t. LIII, 1897.

de diamètre, — ils sont toujours plus ou moins remplis de taches floconneuses qui en troublent la limpidité. Ces flocons ne sont pas causés par une altération, comme on l'a dit, mais par l'inclusion de grumeaux de la substance micacée au milieu de laquelle les cristaux sont nés et dont, pour nous, ils dérivent; les autres minéraux secondaires du gisement, tels que certains quartz, l'anatase, le xénotime, les contiennent aussi. En outre, de nombreuses aiguilles de tourmaline les traversent et des inclusions liquides y abondent parfois; c'est un fluide peu réfringent dont une chaleur assez forte ne modifie pas l'aspect (eau?). Néanmoins, nous avons pu réunir plusieurs mesures satisfaisantes, que nous communiquons dans la présente note. Nous y joignons quelques renseignements sur un autre phosphate rare, le xénotime, que nous avons trouvé associé à la monazite.

Les observations furent faites avec le microscope polarisant grand modèle de Fuess et le goniomètre si précis du même constructeur. Les meilleures d'entre elles sont marquées d'un astérisque. Les désignations des faces sont, pour la monazite, celles que M. Franck a adoptées dans le travail précité.

L'indice de réfraction des petits cristaux de Nil ne peut guère être déterminé autrement que par la méthode du duc de Chaulnes, dont l'emploi, comme on sait, comporte des incertitudes. Bien que les opérations aient été faites avec le plus grand soin, les mesures qui suivent témoignent des difficultés rencontrées. Les visées furent effectuées, en lumière polarisée, sur une ligne très fine tracée à l'encre de Chine sur le porte-objet et en y alignant les cristaux sur leur face *a* (100). Les granulations du trait permettaient des pointés plus précis, nous a-t-il paru,

que la méthode de la projection de l'image d'une mire par le condensateur (*). On a obtenu, pour des cristaux de $0^{mm}1$ à $0^{mm}2$ d'épaisseur, en prenant l'indice du baume = 1,549 :

Cristal jaune pâle, limpide, avec flocons isolés; moyenne de deux mesures aux deux bouts.	1,89*
Cristal jaune d'ambre	1,86
Débris d'un cristal ambré foncé . .	1,91*
Cristal jaune d'ambre pas très plan.	1,94

Un cristal plus épais ($0^{mm}285$), mesuré dans l'air, alternativement par ses deux faces *a* et *a'*, a donné en moyenne :

Cristal jaune d'ambre foncé transparent et plan.	1,90*

Nous avions compté sur la présence d'un clivage facile suivant la base *c* (001), mentionné par divers auteurs, pour obtenir des fragments permettant de voir la figure d'interférence axiale, mais aucun des cristaux essayés n'a fourni le résultat désiré, de sorte qu'il a fallu utiliser des débris à cassure basique irrégulière. M. Hidden a également noté l'absence du clivage basique dans la monazite de Stony Point (**). Par contre, le clivage suivant *b* (010) est plus facile qu'on ne l'indique généralement, ce qui peut être mis à profit pour la mesure des extinctions.

(*) Rosenbusch, *Mikroskopische Physiographie der Mineralien und Gesteine*, t. I, 1892.

(**) *Zeitschr. f. Krystallogr. von Groth*, t. XII, 1887,

Un troisième, moins évident, est parfois visible suivant *a* (100). D'après la monographie consacrée par Nietze à la monazite et les auteurs qu'il cite, les clivages paraissent différer suivant les gisements (*).

Les débris obtenus, convenablement calés suivant *c*, dans le baume, ont fourni de belles figures axiales. Leur forme est parfois altérée par les faces terminales, notamment par *ff'* (**); aussi convient-il de pointer par *x* ($\bar{1}01$), dont le développement est toujours suffisant. Six extrémités de cristaux différents ainsi préparées ont fourni, en lumière blanche, les valeurs suivantes pour 2E :

Cristal	MA	26°*
	MB	25°45'*
	MC	26°*
	MD	26°30' env.
	ME	26° env.
	MF	26°50'*

En lumière rouge (verre) et en lumière jaune (soude), les valeurs diffèrent peu ; le cristal MB a donné

2 E*na* . . . . . 23°30'*

Si l'on calcule, pour ce même cristal, l'écartement des axes optiques d'après la moyenne des indices obtenus plus haut, on trouve

2 V*na* . . . . . 12°15' env.

(*) *U. S. Geolog. Survey,* Sixteenth Ann. Rep , t. IV, 1894-1895.

(**) Ces faces correspondent à *g* de la turnérite de vom Rath et de Trechmann = (012) : ($0\bar{1}2$) 48°26' (Dana, *Syst. of min.,* 6e édit., 1899).

ce qui se rapproche des valeurs obtenues par Scharizer pour la monazite de Schüttenhofen

2 Eρ . . . . . 25°22′
2 Ena . . . . . 24°56′
2 Vna . . . . . 12°44′ (*).

Le plan des axes optiques est normal au plan de symétrie et presque parallèle à (100), comme l'indique la figure 1, qui représente l'extrémité c des cristaux examinés. Tous étaient positifs, avec $\rho < \nu$; la dispersion horizontale n'était pas apparente. Il n'y avait pas d'anomalies à voir dans les figures axiales, en dehors des modifications qu'elles subissaient par les corps étrangers inclus.

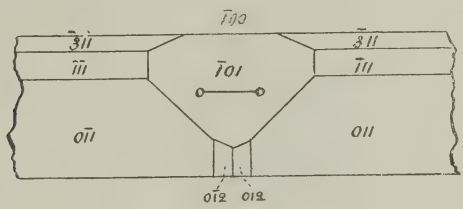


Fig. 1.

En écrasant les petits cristaux, ils éclatent, selon leurs clivages faciles, en débris transparents, qui, placés suivant b (010), permettent la mesure des extinctions. Pourtant, même avec l'oculaire de Calderon, les observations sont difficiles, bien que l'obliquité soit sensible. Nous avons obtenu, pour les écarts les plus marqués :

$\gamma : c$ . . . . . 3°12′ (difficile)
4° env.

(*) *Zeitschr. f. Kryst.*, t. XII, 1887.

Deux solides de clivage, dont l'un est représenté figure 2 (où γ = grand indice), préparés à part en brisant des cristaux purs et transparents, ont donné, en moyenne,

$$\gamma : c. \ . \ . \ 2°27'*$$
$$3°29'*$$

Le pléochroïsme de la monazite de Nil est, en général, très faible. Il manque dans les cristaux minces et peu colorés, mais devient sensible pour ceux d'une certaine

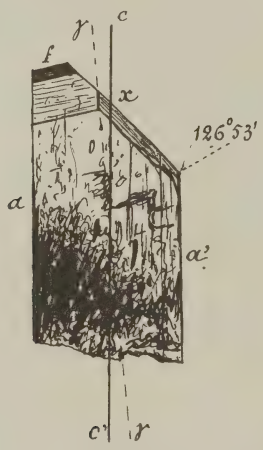


Fig. 2.

épaisseur. On observe alors que la teinte jaune d'ambre se fonce un peu lorsque le plan de symétrie du cristal se confond avec la section principale du nicol.

On trouve à Nil-Saint-Vincent, dans la matière argileuse jaune qui contient la monazite, des bâtonnets carrés, terminés par quelques faces, bâtonnets qui ont été attribués, jusqu'ici, à des solides de clivage de ce

même minéral. Leur éclat est gras; leur coloration se rapproche de celle de la monazite, sauf qu'il y en a beaucoup qui sont d'un rouge assez prononcé, teinte paraissant bien rare dans les cristaux entiers de monazite. Certains de ces débris sont transparents; d'autres sont floconneux comme la monazite, et cela pour la raison déjà donnée. Il y en a dont l'opacité est causée par du rutile capillaire, associé ou non à des aiguilles de tourmaline, qui les traversent de part en part.

Leurs dimensions sont analogues à celles de la monazite : 1 millimètre de long sur $0^{mm}5$ d'épaisseur; parmi les grands débris, nous en avons trouvé qui avaient $1^{mm}4$ sur $0^{mm}8$.

En les examinant de plus près, il devient évident que la supposition qu'on a faite ne correspond pas à la réalité. S'il s'agissait de débris de clivage de monazite, on devrait rencontrer aussi un certain nombre de fragments correspondant à d'autres portions des petites tables cristallines, ce qui n'est pas le cas. Étant donnés les contours arrêtés de ces débris prismatiques, rappelant plus ou moins ceux de la figure 2 précédente, leur axe long ne pouvait correspondre qu'à *c*, puisque le clivage parallèle à la base fait défaut, et la figure axiale devait être visible dans cette direction. On la trouve, en effet, mais comme elle est uniaxe, la présence de deux minéraux différents est hors de doute.

Pour une dizaine de cristaux, la croix axiale, très nette, était entourée de nombreux cercles colorés. Tous étaient positifs; les plus foncés avaient des traces de pléochroïsme. Ces caractères pouvaient s'appliquer, étant donnée la nature du gisement, à un minéral quadratique tel que le zircon, le rutile et leurs associés, ou au xénotime.

Nous avions soupçonné l'existence de ce dernier minéral à Nil-Saint-Vincent, il y a plusieurs années déjà, mais sa distinction du zircon et d'autres substances quadratiques nécessitant l'emploi d'instruments qui nous manquaient, nous n'avions pu arriver à préciser notre conclusion. Nous reprenons cette détermination sur des matériaux recueillis vers 1880 et préparés à nouveau.

Le xénotime est un phosphate d'yttrium (YPO_4) contenant d'autres corps tels que l'erbium, le cérium, le thorium et le zirconium. Il accompagne souvent la monazite dans les roches granitiques ou schisto-cristallines altérées; on l'a aussi trouvé dans les sables aurifères et diamantifères. Ses associés sont le rutile, l'anatase, la tourmaline, le zircon, etc. Les cristaux de xénotime sont habituellement très petits et difficilement mesurables; leurs formes sont celles du zircon.

La différenciation du xénotime de la monazite est aisée, ne fût-ce que par les propriétés optiques, mais il n'en est plus de même lorsqu'il s'agit d'établir la présence de minuscules cristaux du premier minéral dans un gisement où le zircon est très abondant, comme à Nil.

Il est à remarquer que le zircon de cette localité est en granules d'aspect roulé, atteignant très exceptionnellement $0^{mm}3$ de long; lorsqu'ils ont des formes cristallines plus précises, ils sont beaucoup plus petits encore.

Quoique tout prouve que ces granules soient, avec la tourmaline, d'origine primaire par rapport aux autres minéraux associés, la possibilité de la formation secondaire du zircon n'est pas exclue, comme nous comptons l'établir dans un travail d'ensemble, de sorte que les différences entre le xénotime et le zircon, tant au point

de vue des dimensions que de la forme générale, n'ont ici que la valeur d'un argument accessoire.

On ne saurait rien inférer des propriétés optiques, les deux minéraux étant uniaxes et positifs; restent donc la dureté et les mesures angulaires, sur lesquelles on se base surtout lorsqu'on se trouve dans des cas analogues au nôtre. Avant d'examiner ces propriétés sur les bâtonnets quadratiques de Nil, disons quelques mots de leurs formes cristallines.

Communément on observe le prisme, avec des terminaisons pyramidales. Parfois nous avons rencontré des indications de la forme {201} et de la forme {100} ; la bipyramide ditétragonale {311} s'est trouvée représentée, à diverses reprises, par des facettes brillantes. Rarement les individus sont terminés aux deux bouts; ils se sont fixés à plat, ou par une extrémité, sur des corps étrangers, comme plusieurs des autres minéraux du gisement (certains quartz, anatase, monazite). En outre, ils sont le plus souvent brisés suivant le clivage parfait et facile, parallèle aux facesprismatiques. Sur tous les cristaux, des fissures profondes indiquent ce clivage, et, en les saisissant à la pince, il arrive qu'ils éclatent selon ces plans.

Trois de ces petits cristaux furent soumis à l'essai de dureté. Deux d'entre eux, broyés successivement entre des lames d'un verre assez dur, que l'apatite (dureté 5) entamait encore, ne laissèrent que des traces douteuses de rayure. Le troisième, comptant parmi les plus grands que nous ayons trouvés, collé à la gomme laque par une de ses faces, fut facilement entamé perpendiculairement sur les plans de clivage par une esquille de feldspath

(dureté 6). La dureté serait donc voisine de 5; celle du zircon est de 7.5 et celle du xénotime de 4 à 5.

Décisives sont les mesures goniométriques. En prenant les valeurs angulaires des minéraux quadratiques, parfois associés d'ailleurs, auxquels nos petits cristaux pourraient être rapportés, on obtient la série suivante (désignations de Dana; angles normaux) :

	Cassitérite.	Rutile.	Zircon et ses voisins.		Xénotime.
(111) : ($\overline{1}\overline{1}1$). . .	87°7′	84°40′	84°20′	($z : z''$) . .	82°22′
(110) : (111). . .	46°26′	47°40′	47°50′	($m : z$). . .	48°49′

Déjà en mesurant sous le microscope les angles correspondants sur les débris du minéral qui nous occupe, on s'aperçoit qu'il ne peut s'agir d'aucune des trois premières espèces, bien que les valeurs ainsi obtenues ne soient qu'approximatives. C'est ainsi qu'une lame de clivage, assez mince et plane, a donné :

$m : z$.	48°14′*
$z'' : m''$. . . .	48°45′*
$z : z''$.	81°41′*

Les valeurs analogues que l'on trouve sur bien des fragments confirment la détermination comme xénotime des bâtonnets quadratiques associés à la monazite de Nil. Elles sont précisées par les mesures goniométriques. La plupart des pointés laissent à désirer, il est vrai, à cause des imperfections des facettes, de leur exiguïté, des images multiples, etc., mais nous les avons pourtant renseignés presque tous dans le tableau suivant, parce qu'ils proviennent de cristaux différents et qu'ils présentent quelque intérêt comme valeurs approchées,

souvent les seules que l'on puisse obtenir pour le xénotime.

Cristal XA; quatre faces rugueuses à une des extrémités.	$m' : z'$	49°28′
	$z''' : m'''$	48°54′*
	$m : z$	49° env.
	$z'' : m''$	49° env.
	$z' : z'''$	81°57′
	$z : z''$	81°52′
Cristal XB; quelques faces brillantes à un bout.	$m : z$	48°48′*
	$z'' : m''$	49° env.
	$m' : z'$	48°49′*
	$z''' : m'''$	48°20′
	$z : z''$	82°14′*
	$z' : z'''$	82°41′*
Cristal XC; plusieurs bonnes faces et deux faces $\tau = (311)$ très brillantes (dessiné fig. 4).	$m'' : z''$ (Moy. de trois valeurs voisines.)	48°42′*
	$m' : z'$	48°43′*
	$z''' : m'''$ (Moy. de deux valeurs voisines.)	48°45′*
	$z'' : z$ (Moy. de trois mesures.)	82°21′*
	$z' : z'''$	82°33′*
	τ IV : z''	30°3′*
	$z'' : \tau$ V	30°0′*
	$z'' : z'''$	55°32′*
	$z'' : z'$	55°26′*
Cristal XD; très petit, une seule mesure possible.	$m : z$	48°42′*
Cristal XE; images multiples; s'est brisé après.	$m : z$	48°49′
	$m' : z'$	48°11′ env.

Cristal XF; développé à plat; faces peu réfléchissantes aux deux bouts.	$m : z$	48° env.
	$z'' : m''$	48°15′
	$z'_1 : m'$	48°41′*
	$m' : z'$	48°50′*
	$z : z'$	81°42′
Cristal XG; débris assez grand; plusieurs bonnes faces aux deux bouts.	$z_1 : m$	48°46′*
	$m : z$	48°57′
	$z'_1 : m'$	48°48′*
	$z : z''$	82°30′ env.
	$z'_1 : z'''_1$	82°24′*
Cristal XH; le plus grand débris trouvé, deux très bonnes faces.	$z_1 : m$	49°6′ env.
	$m : z$	48°45′*
	$m''' : z'''$	48°15′ env.
Cristal XI; complètement terminé, mais peu de faces mesurables (dessiné fig. 4).	$z : m$	48°46′*
	$m'' : z''_1$	48°44′ à 49°8′
	$z'_1 : z'''_1$	82°12′*

Les moyennes de nos meilleures mesures, comparées aux valeurs angulaires du xénotime données par d'autres auteurs, sont :

	Des Cloizeaux (*).	Washington (**).	Dana (***).	Xénotime de Nil-St-Vincent (moyennes).
$(111) : (\bar{1}\bar{1}1) = z : z''$	—	—	82°22′	82°24′
$(111) : (\bar{1}11) = z : z'$	56° approx.	55°32′5	55°30′	55°29′
$(110) : (111) = m : z$	48°15′ à 45′	—	48°49′	48°46′
$(311) : (111) = \tau : z$	—	29°50′5	29°53′5	30°1′5

(*) *Zeitschr. f. Kryst.*, t. XII, 1887.
(**) *Idem*, t. XVII, 1890.
(***) *Loc. cit.*

En considération de la nature des matériaux dont nous disposions, l'accord peut être déclaré satisfaisant. Il eût été pourtant désirable de compléter notre détermination par une analyse quantitative; mais le peu de matière recueillie ne permettait pas de l'entreprendre. Par contre, un essai qualitatif pouvait apporter un supplément de preuve d'une utilité évidente.

M. Joly, professeur de chimie à l'Université de Bruxelles, a eu l'amabilité de se charger de cette délicate opération. Les résultats qu'il a obtenus sont consignés dans la note ci-après, qu'il a bien voulu rédiger lui-même.

« Deux petits cristaux, pesant environ deux milli-
» grammes, traités à chaud par de l'acide sulfurique,
» se sont dissous presque complètement en laissant un
» faible résidu agissant sur la lumière polarisée et formé
» très probablement de débris de zircon, tourmaline, etc.

» Après avoir chassé l'excès d'acide sulfurique et
» séparé, par une solution saturée de sulfate de potas-
» sium, le thorium et les métaux du groupe du cérium,
» la liqueur filtrée a été précipitée par l'ammoniaque.
» Le précipité lavé, puis redissous dans l'acide chlor-
» hydrique, a donné, avec l'acide oxalique, un précipité
» formé de petits cristaux cruciformes d'oxalate d'yttria.
» Ces cristaux, redissous dans le carbonate d'ammonium
» et précipités à chaud par un peu d'oxalate d'ammo-
» nium, ont donné des petits cristaux d'aspect octa-
» édrique.

» Les cristaux d'oxalate ont été retransformés en sul-
» fate et la solution a donné, avec l'acide fluorhydrique,
» un précipité gélatineux de fluorure d'yttria, peu soluble
» dans un excès d'acide.

» La présence de l'acide phosphorique a été mise en » évidence par le molybdate acide d'ammonium. Le » précipité que fournit ce réactif, dans la solution de » sulfate, est jaune; il présente tous les caractères du » phosphomolybdate d'ammonium.

» L'examen spectroscopique fut fait comparativement » avec une solution de chlorure d'yttrium. Les deux » solutions fournirent les mêmes raies typiques, notam- » ment dans l'orangé et dans le vert. »

Ajoutons à ces renseignements quelques mots sur l'aspect général des cristaux de xénotime de Nil. Lorsqu'ils descendent à des dimensions microscopiques, ils affectent la forme de petits groupes à six côtés, un peu allongés, sur lesquels on peut mesurer les angles caractéristiques. Des pointements pyramidaux multiples aident à la détermination. D'autres ont encore la même forme, mais se composent de deux individus soudés dans le prolongement l'un de l'autre (fig. 3).

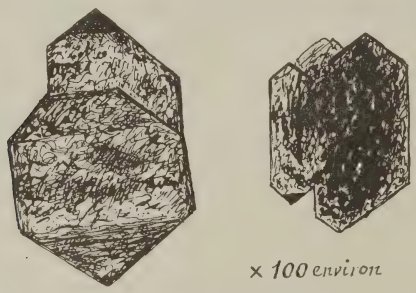


Fig. 3.

Les cristaux plus volumineux se distinguent des débris

de monazite par leur teinte plus rouge. Assez souvent ils ont des cannelures rugueuses particulières, sur les faces de la forme }100{, cannelures qui attirent l'attention (fig. 4), même quand les bâtonnets reposent sur une de ces faces dans la préparation, parce qu'elles se projettent alors des deux côtés du cristal sous l'aspect de grossières dentelures.

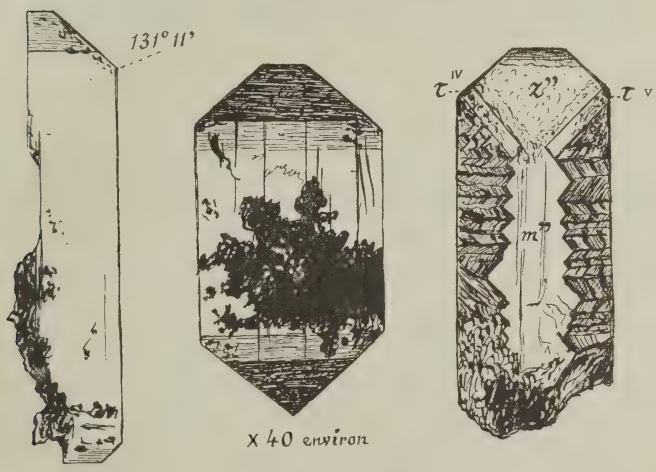


Fig. 4.

Dans le cristal représenté figure 4, à droite, outre les cannelures du deutéroprisme, on constate que les faces pyramidales (z) sont encadrées d'une fine lamelle d'accroissement.

Les individus à terminaison complète, analogues à celui qui est représenté au milieu du dessin ci-dessus, sont rares, et comme ils ont une tendance à se fendre

verticalement, leurs débris pourraient être confondus avec les solides du clivage facile (010) de la monazite, sur lesquels la face x serait conservée. La mesure des angles $a : x$, respectivement $m : z$ des deux minéraux, lève la difficulté, car le premier est voisin de 127° (fig. 2) et le second de 131° (fig. 4, à gauche).

Pour les fragments non terminés des deux minéraux, l'obliquité de l'extinction n'est pas d'un emploi pratique et décisif; il est nécessaire de recourir aux figures axiales.

Cette note était achevée lorsque nous avons eu à notre disposition un excellent petit spectroscope à vision directe de Fuess, qui se laissait adapter au microscope, au moyen duquel on savait observer les bandes d'absorption des deux minéraux dont on vient de parler.

Comme l'instrument montrait nettement les principales raies du spectre solaire, il était possible de repérer les bandes d'absorption en couvrant la moitié du champ de l'appareil par un cristal, tandis que l'autre moitié recevait directement la lumière du jour.

Il était facile aussi de comparer les spectres des deux minéraux en accolant des cristaux de chacun d'eux dans une même préparation, de manière à observer à la fois les deux images.

Les cristaux plongeaient dans le baume de Canada. Beaucoup d'observations furent faites avec un éclairage au pétrole, concentré par une lentille sur le miroir du microscope. Les spectres ordinaires et extraordinaires

des deux minéraux accusant des différences marquées et constantes, on les a notées dans ce qui suit.

Même les cristaux minces ($0^{mm}1$), peu colorés, de monazite montrent les bandes caractéristiques du didyme dans les environs de D, de E, et au delà dans le bleu. Elles correspondent aux groupes de lignes reconnues dans ce minéral par Cossa (*), Miers (**) et autres auteurs. Avec une lumière suffisante, certains cristaux présentent des bandes au delà de F, et entre F et G.

Suivant que l'axe *c* des petits cristaux tabulaires est normal ou parallèle au plan principal de l'analyseur, on constate des modifications dans l'aspect des bandes. Les plus marquées consistent dans le dédoublement de la bande près de D et dans l'affaiblissement de celles de E et de F (fig. 5, M_1 et M_2).

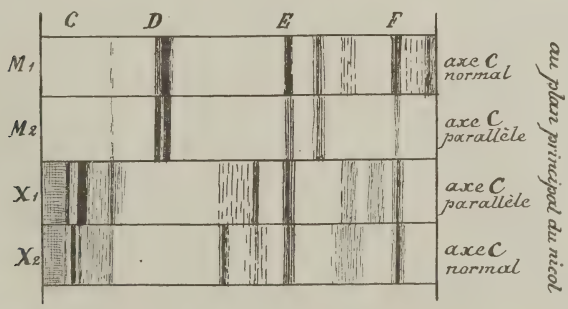


Fig. 5. — Disposition des principales bandes d'absorption des cristaux de monazite (M_1, M_2) et de xénotime (X_1 et X_2) de Nil-Saint-Vincent en lumière polarisée.

(*) *Acc. dei Lincei*, ser. 3*a*, t. III, 1878-1879.
(**) *Mineralogy*, 1902.

Le spectre du xénotime diffère du précédent, surtout par l'absence de la large bande près de D, de celles qui sont après E, et par la présence de bandes, ou de raies, près de C et entre D et E. Ces dernières sont produites par les plus petits débris du minéral, tandis que celles de C n'apparaissent pas toujours dans les cristaux épais, cette région du spectre étant assez obscure. Les raies aux environs de F sont, en général, mieux marquées que pour la monazite.

Lorsque l'axe *c* est parallèle au plan principal du nicol, les bandes près de C sont écartées et déplacées par rapport à la position qu'elles occupent quand le cristal est tourné de 90° (fig. 5, X_1 et X_2). Une modification tout aussi marquée s'observe, dans ces conditions, dans les bandes entre D et E.

Ces constatations confirment non seulement la différence chimique entre la monazite et le xénotime, mais encore celle qu'il y a entre ce dernier minéral et le zircon. En effet, le zircon de Nil-Saint-Vincent ne montre aucune bande analogue à celles dont il vient d'être question, ni à celles que Miers a observées et qu'il rapporte partiellement à l'uranium. Notre appareil ne les laissait du reste pas reconnaître dans des cristaux de zircon d'autres localités; pourtant il montrait très bien les bandes du grenat almandin (Miers) et laissait deviner celles de la Scheelite (Cossa, Becquerel) dans un cristal peu coloré.

Il résulte encore de cet examen sommaire que le xénotime de Nil contient plusieurs « terres rares », un

peu de didyme sans doute, du cérium et de l'erbium, qui sont fréquents dans ce minéral, et que l'examen micro-spectroscopique est un moyen rapide et certain de le reconnaître, ainsi que de le distinguer de la monazite et du zircon.

Laboratoire de minéralogie et de géologie
de l'Université de Bruxelles.

—

Recherches sur la substitution métallique (deuxième communication); par A.-J.-J. Vandevelde, directeur du laboratoire de la ville de Gand, et C.-E. Wasteels, répétiteur à l'Université de Gand.

Dans une première communication (*), nous avons exposé les résultats de nos recherches sur la substitution du cuivre par le zinc, dans des solutions aqueuses et alcooliques de sulfate de cuivre, et étudié les variations que subit cette substitution d'après la forme des fragments métalliques, d'après leur position dans les solutions salines, d'après l'état de repos ou de mouvement des corps qui réagissent l'un sur l'autre. Dans cette deuxième contribution, nous étudions l'influence de la température et des variations de la concentration alcoolique; enfin

(*) *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique* (Classe des sciences), nº 11, pp. 795-839, 1902.

nous exposons le mécanisme assez compliqué de la réaction qui se produit entre le zinc et le sulfate de cuivre dans les conditions de nos expériences.

Nous avons employé, comme précédemment, des solutions de sulfate de cuivre pur à 4 GV % $CuSO_4 + 5H_2O$, donc à 1.02 GV % de cuivre métallique; ces solutions ont été introduites par quantités de 25 centimètres cubes dans des vases de Berlin de 50 centimètres cubes. Sur le fond de chacun des vases sont déposés deux fils de zinc pur, mesurant chacun 3 centimètres de longueur et pesant ensemble $\pm$ $1^{gr}25$.

Nous avons modifié, en la perfectionnant, la technique opératoire suivie lors de nos premières recherches; nous déterminions séparément avant et après réaction le poids des deux fragments de zinc de chaque vase de Berlin, et calculions la moyenne des résultats obtenus dans des conditions identiques; ces déterminations prenaient nécessairement un temps considérable et étaient susceptibles d'erreurs de pesée et de calcul.

Notre nouvelle technique obvie à ces inconvénients, et permet en même temps de multiplier considérablement le nombre des essais de contrôle; elle donne aussi directement la moyenne des déterminations sans longs calculs. Les fragments de zinc sont pesés ensemble au nombre de vingt, avant la réaction, puis déposés par couples sur le fond de dix vases de Berlin, contenant chacun les 25 centimètres cubes de solution réagissante. Après la réaction, les vingt fragments de zinc sont rincés, débarrassés du précipité adhérent, desséchés et pesés ensemble. Comme

contrôle, les séries de dix cas sont étudiées en double ou en triple, parfois plus; pour toutes les séries réunies, nous déterminons le poids total avant et après réaction, et ensuite en une fois la perte de zinc des fragments mis en œuvre.

Par le procédé indiqué, nous avons étudié les cas suivants à trois températures différentes, à 24-25° C. (grande étuve à eau), à 17-18° C. (endroit frais à température constante), à 7-8° C. (glacière du modèle usité pour la conservation du lait, de la viande, etc.) :

A) Solution aqueuse à 4 GV % $CuSO_4 + 5H_2O$, tenant donc 40 grammes au litre.

B) Solution alcoolique à 4 GV % $CuSO_4 + 5H_2O$, tenant au litre : 40 grammes $CuSO_4 + 5H_2O$, 50 centimètres cubes d'alcool éthylique à 94°, et de l'eau pour parfaire le volume.

C) Solution alcoolique à 4 GV % $CuSO_4 + 5H_2O$, tenant au litre : 40 grammes $CuSO_4 + 5H_2O$, 100 centimètres cubes d'alcool éthylique à 94°, et de l'eau pour parfaire le volume.

D) Solution alcoolique à 4 GV % $CuSO_4 + 5H_2O$, tenant au litre : 40 grammes $CuSO_4 + 5H_2O$, 150 centimètres cubes d'alcool éthylique à 94°, et de l'eau pour parfaire le volume.

E) Solution alcoolique à 4 GV % $CuSO_4 + 5H_2O$, tenant au litre : 40 grammes $CuSO_4 + 5H_2O$, 200 centimètres cubes d'alcool éthylique à 94°, et de l'eau pour parfaire le volume.

I. — Essais effectués a la température de 24-25° C.

A. — *Solution aqueuse.*

Temps en heures.	Nombre de séries.	Poids du zinc avant réaction.	Poids du zinc après réaction.	Perte de poids du zinc.	°/o.
1/2 (*)	3	36,6983	34,9704	1,7279	4.71
1	3	36,5082	33,2956	3,2126	8.80
1 1/2	3	36,7405	32,1783	4,5622	12.42
2	3	36,5034	31,0129	5,4905	15.04
3	3	36,4694	29,9931	6,4763	17.76
4	3	36,4930	29,0291	7,4639	20.45
5	1	12,2451	9,2240	3,0211	24.67
6	1	12,2526	9,0264	3,2262	26.33
7	1	12,3005	8,9154	3,3851	27.52
8	1	12,3012	8,5158	3,7854	30 77
9	1	12,2682	8,4168	3,8514	31.39
12	1	12,2467	8,1897	4,0570	33.12
18	1	12,4209	7,7555	4,6654	37 56
24	2	24.2361	14,4920	9,7441	40.20
48	2	24,5893	14,4902	10,0991	41.07
72	2	24,6155	13,5503	11,0652	44.95
500	2	24,5 92	9,3265	15,2427	62 04

(*) Voici, par exemple, le détail d'une expérience de trois séries :

Temps en heures.	Poids du zinc avant réaction.	Poids du zinc après réaction.	Perte de poids du zinc.	°/o.
1/2	12,2159	11,6314	0,5845	—
	12,2670	11,6924	0,5746	—
	12,2154	11,6466	0,5688	—
	36,6983	34,9704	1,7279	4.71

La détermination de la vitesse initiale de réaction a été faite au moyen des formules (11), (12) et (22) de notre première communication (*), notamment

$$\log \frac{K}{K - x} = at \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (11)$$

$$\frac{dx}{dt} = 2{,}3026\, a\, (K - x) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (12)$$

d'où

$$v_0 = 2{,}3026\, a\, K$$

et

$$K = \frac{x_2 x_3 - x_1 x_4}{x_2 + x_3 - (x_1 + x_4)}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (22)$$

Nous avons, dans le cas présent,

$$x_1 = 8.80; \quad x_2 = 15.04; \quad x_3 = 17.76; \quad x_4 = 20.45.$$

La formule (22) donne

$$K = 24.55.$$

Les calculs conduisent aux valeurs suivantes :

t.	x.	$K - x$.	$\log \frac{K}{K - x}$.	$\frac{1}{t} \log \frac{K}{K - x}$.
1	8,80	15,75	0,19277	0,1928
2	15,04	9,51	0,41187	0,2059
3	17,76	6,79	0,55818	0,1861
4	20,45	4,10	0,77727	0,1943

(*) *Loc. cit.*

Valeur moyenne de $\frac{1}{t} \log \frac{K}{K - x} = 0,1948 = u$,

d'où

$$v_0 = 2,3026 \times 0,1948 \times 24.55 = 11.01.$$

B. — *Solution alcoolique à 5 V °/₀ d'alcool à 94°.*

Temps en heures.	Nombre de séries.	Poids du zinc avant réaction.	Poids du zinc après réaction.	Perte de poids du zinc.	°/₀.
1/2	3	36,6733	35,2701	1,4032	3.83
1	3	37,2561	34,2435	3,0126	8.09
1 1/2	3	36,8578	32,7817	4,0761	11.06
2	3	37,2082	32,2366	4,9716	13.36
3	3	36,7296	29,9183	6,8113	18 54
4	3	36,7318	28,8199	7,9119	21.54
5	1	12,4484	9,6517	2,7967	22.46
6	1	12,3714	9,2950	3,0764	24.87
18	1	12,4189	7,6351	4,7848	38.53
24	1	12,3298	7,0565	5,2733	42.76

Détermination de la vitesse initiale v_0.
Le calcul donne

$$K = 32.35.$$

t.	x.	$K - x$	$\log \frac{K}{K - x}$.	$\frac{1}{t} \log \frac{K}{K - x}$.
1	8,09	24,26	0,12498	0,1250
2	13,36	18,99	0,23135	0,1157
3	18,54	13,81	0,36968	0,1232
4	21,54	10,81	0,47605	0,1190

Valeur moyenne de $\frac{1}{t} \log \frac{K}{K - x} = 0,1207 = a$,

d'où

$$v_0 = 2,3026 \times 0,1207 \times 32.35 = 9.0.$$

C. — *Solution alcoolique à 10 V °/₀ d'alcool à 94°.*

Temps. en heures.	Nombre de séries.	Poids du zinc avant réaction.	Poids du zinc après réaction.	Perte de poids du zinc.	°/₀.
1/2	3	37,1656	35,8701	1,2955	3.49
1	3	37,3103	35,1498	2,1605	5.79
1 1/2	3	37,1577	33,3885	3,7692	10.14
2	3	37,0816	32,4648	4,6168	12.45
3	3	37,1178	30,8179	6,2999	16.97
4	3	37,2799	29,6877	7,5922	20.37

Temps en heures.	Nombre de séries.	Poids du zinc avant réaction.	Poids du zinc après réaction.	Perte de poids du zinc.	%.
5	1	12,3946	9,6258	2,7688	22.34
6	1	12,3762	9,4468	2,9294	23.67
24	1	12,4080	7,2883	5,1197	41.26
48	2	24,6840	13,6364	11,0476	44.78
72	2	24,5351	12,8305	11,7046	47.71
500	2	24,8342	8,7805	16,0537	64.64

Détermination de la vitesse initiale v_0.

Le calcul donne

$$K = 28.63.$$

t.	x.	$K - x$.	$\log \frac{K}{K-x}$.	$\frac{1}{t} \log \frac{K}{K-x}$.
1	5,79	22,84	0,09813	0,0981
2	12,45	16,18	0,24784	0,1239
3	16,97	11,66	0,39012	0,1300
4	20,37	8,26	0,53984	0,1350

Valeur moyenne de $\frac{1}{t} \log \frac{K}{K-x} = 0,1217$,

d'où

$$v_0 = 2,3026 \times 0,1217 \times 28.63 = 8.01.$$

D. — *Solution alcoolique à 15 V °/₀ d'alcool à 94°.*

Temps en heures.	Nombre de séries.	Poids du zinc avant réaction.	Poids du zinc après réaction.	Perte de poids du zinc.	°/₀.
1	3	36,7800	34,7713	2,0087	5.46
2	3	36,7648	32,7434	4,0214	10.99
3	3	37,1483	31,3315	5,8168	15.66
4	3	37,1334	30,3158	6,8176	18.36
5	1	12,3373	9,7809	2,5564	20.72
6	1	12,3922	9,6259	2,7663	22.32
24	1	12,2684	7,0761	5,1423	42.32

Détermination de la vitesse initiale v_0.
Le calcul donne

$$K = 25.39.$$

t.	x.	$K - x$.	$\log \frac{K}{K - x}$.	$\frac{1}{t} \log \frac{K}{K - x}$.
1	5,46	19,93	0,10516	0,1052
2	10.99	14,40	0,24630	0,1232
3	15,66	9,73	0,41655	0,1388
4	18.36	7,03	0,55771	0,13[illegible]4

Valeur moyenne de $\frac{1}{t} \log \frac{K}{K - x} = 0,1266 = a$,

d'où

$$v_0 = 2,3026 \times 0,1266 \times 25.39 = 7.40$$

E. — *Solution alcoolique à 20 V °/₀ d'alcool à 94°.*

Temps en heures.	Nombre de séries.	Poids du zinc avant réaction.	Poids du zinc après réaction.	Perte de poids du zinc.	°/₀.
1	3	36,9460	34,8855	2,0605	5.58
2	3	36,8250	32,7503	4,0747	11.07
3	3	37,1195	32,0208	5,0987	13.74
4	3	36,8817	30,5000	6,3817	17.30
5	1	12,3930	10,0359	2,3571	19.02
6	1	12,3906	9,6633	2,7273	22.01
24	2	24,6847	15,2810	9,4037	37.97
48	2	24,9018	14,8872	10,0146	40.22
72	2	24,5427	14,0175	10,5252	42.88
500	2	24,5438	8,4015	16,1423	65.77

Détermination de la vitesse initiale v_0.

Le calcul donne

$$K = 28.79.$$

t.	x.	$K - x$.	$\log \frac{K}{K-x}$.	$\frac{1}{t} \log \frac{K}{K-x}$.
1	5,58	23,21	0,09357	0,0936
2	11,07	17,72	0,21078	0,1054
3	13,74	15,05	0,28171	0,0939
4	17,30	11,49	0,39892	0,0997

Valeur moyenne de $\frac{1}{t} \log \frac{K}{K-x} = 0,0981 = a$,

d'où

$$v_0 = 2,3026 \times 0,0981 \times 28.79 = 6.50.$$

II. — Essais effectués a la température de 17-18° C.

A. — *Solution aqueuse.*

Temps en heures.	Nombre de séries.	Poids du zinc avant réaction.	Poids du zinc après réaction.	Perte de poids du zinc.	%.
1	1	12,3123	11,3889	0,9234	7.50
2	1	12,4103	10,8218	1,5885	12.80
3	1	12,3728	10,3561	2,0167	16.30
4	1	12,3824	10,1536	2,2288	18.00
5	1	12,3578	10,0666	2,2912	18.54
24	2	24,4378	16,4124	8,0254	32.85
48	2	24,5324	15,1464	9,3860	38.26
72	2	24,5046	14,4339	10,0707	41.09
500	2	24,9015	11,7328	13,1687	53.64

Détermination de la vitesse initiale v_0.
La formule (22) donne

$$K = 20.46.$$

t.	x.	$K - x$.	$\log \frac{K}{K-x}$.	$\frac{1}{t} \log \frac{K}{K-x}$.
1	7,50	12,96	0,19830	0,1983
2	12,80	7,66	0,42668	0,2133
3	16,30	4,16	0,69181	0,2306
4	18,00	2,46	0,91997	0,2300

Valeur moyenne de $\frac{1}{t} \log \frac{K}{K-x} = 0,2180 = a$,

d'où

$$v_0 = 2,3026 \times 0,2180 \times 20.46 = 10.27.$$

B. — *Solution alcoolique à 5 V °/₀ d'alcool à 94°.*

Temps en heures.	Nombre de séries.	Poids du zinc avant réaction.	Poids du zinc après réaction.	Perte de poids du zinc.	°/₀.
1	1	12,4531	11,6188	0,8343	6.70
2	1	12,2974	10,8463	1,4511	11.80
3	1	12,3127	10,2934	2,0193	16.40
4	1	12,3846	10,0552	2,3294	18.81
5	1	12,3648	9,8063	2,5595	20.70

Détermination de la vitesse initiale v_0.
Le calcul donne

$$K = 25.09.$$

t.	x.	$K - x$.	$\log \frac{K}{K-x}$.	$\frac{1}{t} \log \frac{K}{K-x}$.
1	6,70	18,39	0,13492	0,1349
2	11,80	13,29	0,27598	0,1380
3	16,40	8,69	0,46048	0,1535
4	18,81	6,28	0,60154	0,1504

Valeur moyenne de $\frac{1}{t} \log \frac{K}{K-x} = 0,1442 = a$,

d'où

$$v_0 = 2,3026 \times 0,1442 \times 25.09 = 8.33.$$

C. — *Solution alcoolique à 10 V °/₀ d'alcool à 94°.*

Temps en heures.	Nombre de séries.	Poids du zinc avant réaction.	Poids du zinc après réaction.	Perte de poids du zinc.	°/₀.
1	1	12,3824	11,6111	0,7713	6.23
2	1	12,2985	10,9827	1,3158	10.70
3	1	12,4129	10,5386	1,8743	15.10
4	1	12,3706	10,1687	2,2019	17.80
5	1	12,3581	9,8233	2,5248	20.43
24	2	24,4682	15,7938	8,6744	35.45
48	2	24,4889	13,9880	10,5009	42.88
72	2	24,5285	12,8242	11,7043	47.72
500	2	24,7683	9,3497	15,4186	62.25

Détermination de la vitesse initiale v_0.
Le calcul donne

$$K = 28.63.$$

t.	x.	$K - x$.	$\log \frac{K}{K-x}$	$\frac{1}{t} \log \frac{K}{K-x}$.
1	6,23	22,40	0,10657	0,1066
2	10,70	17,93	0,20324	0.1016
3	15,10	13,53	0,32552	0,1085
4	17,80	10,83	0,42219	0,1055

Valeur moyenne de $\frac{1}{t} \log \frac{K}{K-x} = 0,1055 = a$,

d'où

$$v_0 = 2,3026 \times 0,1055 \times 28.63 = 6.95.$$

D. — *Solution alcoolique à 15 V °/₀ d'alcool à 94°.*

Temps en heures.	Nombre de séries.	Poids du zinc avant réaction.	Poids du zinc après réaction.	Perte de poids du zinc.	°/₀.
1	1	12,3721	11,7409	0,6312	5,10
2	1	12,3948	11,1790	1,2158	9.81
3	1	12,2881	10,5864	1,7017	13.85
4	1	12,4101	10,3749	2,0352	16.40
5	1	12,3563	10,0236	2,3327	18.88

Détermination de la vitesse initiale v_0.
Le calcul donne

$$K = 24.18.$$

t.	x.	$K - x$.	$\log \frac{K}{K-x}$.	$\frac{1}{t} \log \frac{K}{K-x}$
1	5,10	19,08	0,10288	0,1029
2	9,81	14,37	0,22600	0,1130
3	13,85	10,33	0,36936	0,1231
4	16,40	7,78	0,49248	0,1231

Valeur moyenne de $\frac{1}{t} \log \frac{K}{K-x} = 0,1155 = a$,

d'où

$$v_0 = 2,5026 \times 0,1155 \times 24.18 = 6.43.$$

E. — *Solution alcoolique à 20 V °/₀ d'alcool à 94°.*

Temps en heures.	Nombre de séries.	Poids du zinc avant réaction.	Poids du zinc après réaction.	Perte de poids du zinc.	°/₀.
1	1	12,2921	11,7636	0,5285	4.30
2	1	12,3746	11,2963	1,0783	8.71
3	1	12,2829	10,7577	1,5252	12 42
4	1	12,4003	10,5195	1,8808	15.17
5	1	12,3393	10,1691	2,1702	17.59
24	2	24,6089	16,2077	8,4012	34.14
48	2	24,7577	14,6309	10,1268	40.90
72	2	24,4970	13,3223	11,1747	45.61
500	2	24,8363	8,1910	16,6443	67.02

Détermination de la vitesse initiale v_0.

Le calcul donne

$$K = 25.87.$$

t.	x.	$K - x$.	$\log \frac{K}{K-x}$.	$\frac{1}{t} \log \frac{K}{K-x}$.
1	4,30	21,57	0,07895	0,0789
2	8,71	17,16	0.17828	0,0891
3	12,42	13,45	0,28407	0,0947
4	15,17	10,70	0,38341	0,0959

Valeur moyenne de $\frac{1}{t} \log \frac{K}{K-x} = 0,0896$,

d'où

$$v_0 = 2,3026 \times 0,0896 \times 25.87 = 5.34.$$

III. — Essais effectués a la température de 7-8° C.

A. — *Solution aqueuse.*

Temps en heures.	Nombre de séries.	Poids du zinc avant réaction.	Poids du zinc après réaction.	Perte de poids du zinc.	°/o.
1	6	73,4608	68,8315	4,6293	6.30
2	6	73,5550	65,4971	8,0579	10.95
3	6	73,5619	62,6451	10.9168	14 84
4	6	73,4531	60,9375	12,5156	17.04
5	2	24,1578	19,6952	4,4626	18.47
24	3	37,1261	26,5677	10,5584	28.44
48	2	24,4811	16,5905	7,8906	32.23
72	2	24,0603	16,2379	7,8224	32.93
500 (*)	2	24,5335	11,6258	12,9077	52.61

(*) Les essais de 500 heures ont été effectués dans l'une des glacières de MM. Donny frères, à Gand, que nous remercions vivement de leur obligeance.

Détermination de la vitesse initiale v_0.
Le calcul donne

$$K = 22.51.$$

t.	x.	$K - x$.	$\log \frac{K}{K-x}$.	$\frac{1}{t} \log \frac{K}{K-x}$.
1	6,30	16,21	0,14259	0,1426
2	10,95	11,56	0,28942	0,1447
3	14,84	7,67	0,46758	0,1559
4	17,04	5,47	0,61439	0,1536

Valeur moyenne de $\frac{1}{t} \log \frac{K}{K-x} = 0,1492 = a$,

d'où

$$v_0 = 2,3026 \times 0,1492 \times 22.51 = 7.73.$$

C. — *Solution alcoolique à 10 V °/₀ d'alcool à 94°.*

Temps en heures.	Nombre de séries.	Poids du zinc avant réaction.	Poids du zinc après réaction.	Perte de poids du zinc.	°/₀.
1	6	73,3355	70,0800	3,2555	4.44
2	6	73,5669	67,5468	6,0201	8.18
3	6	73,5870	64,8620	8,7250	11.86
4	6	73,5069	62,2465	11,2604	15.32
24	3	36,7808	24,8841	11,8967	32.34
48	2	24,5345	15,7570	8,7775	35.77
72	2	24,1554	13,9128	10,2426	42 40
500	2	24,6174	10,8921	13,7253	55.75

Détermination de la vitesse initiale v_0.

Le calcul donne

$$K = 103.55.$$

t.	x.	$K - x$.	$\log \frac{K}{K-x}$.	$\frac{1}{t} \log \frac{K}{K-x}$.
1	4,44	99,11	0,01903	0,0190
2	8,18	95.37	0,03574	0,0179
3	11,86	91,69	0,05283	0,0176
4	15,32	88,23	0,06953	0,0174

Valeur moyenne de $\frac{1}{t} \log \frac{K}{K-x} = 0,0180 = a$,

d'où

$$v_0 = 2,3026 \times 0,018 \times 103.55 = 4.29.$$

E. — *Solution alcoolique à 20 V °/₀ d'alcool à 94°.*

Temps en heures.	Nombre de séries.	Poids du zinc avant réaction.	Poids du zinc après réaction.	Perte de poids du zinc.	°/₀.
1	6	73,3928	71,0576	2,3352	3.18
2	6	73,2287	68,4082	4,8205	6.58
3	6	73,4817	66,4944	6,9873	9.51
4	6	73,6925	64,8930	8,7995	11.94
5	2	24,1398	20,9050	3,2348	13.40
24	3	37,3724	26,7994	10,5730	28.20
48	2	24,5993	15,6447	8,9546	36.40
72	2	24,1411	13,5401	10,6010	43.91
500	2	24,5234	10,1685	14,3549	58.53

Détermination de la vitesse initiale v_0.

Le calcul donne

$$K = 25.37.$$

t.	x.	$K - x$.	$\log \frac{K}{K - x}$.	$\frac{1}{t} \log \frac{K}{K - x}$.
1	3,18	22,19	0,05816	0,0582
2	6,58	18,79	0,13039	0,0652
3	9,51	15,86	0,20402	0,0680
4	11,94	13,43	0,27624	0,0691

Valeur moyenne de $\frac{1}{t} \log \frac{K}{K - x} = 0,0651 = a$,

d'où

$$v_0 = 2,3026 \times 0,0651 \times 25.37 = 3.80.$$

Quand on compare les résultats obtenus pour les solutions employées aux températures de 24-25°, 17-18° et 7-8°, on constate que la température de même que la concentration alcoolique exercent une influence considérable sur la marche du phénomène. Nous avons réuni dans le tableau suivant les résultats généraux de nos nombreuses expériences :

Nombre d'heures.	24 - 25° C.					17 - 18° C.					7 - 8° C.		
	A.	B.	C.	D.	E.	A.	B.	C.	D.	E.	A.	C.	E.
r_0	11.01	9.00	8.01	7.40	6.50	10.27	8.33	6.95	6.43	5.34	7.73	4.29	3.80
1	**8.79**	8.09	5.79	5.46	5.58	**7.49**	6.69	6.23	5.10	4.29	**6.30**	4.44	3.18
2	**15.04**	13 36	12.45	10.99	11.07	**12.71**	11.80	10.69	9.81	8 71	**10.90**	8 18	6.58
3	17.76	**18.54**	16.97	15.66	13.74	16.29	**16.40**	15.09	13.84	12.42	**14.84**	11.85	9.51
4	20.45	**21.54**	20.37	18 49	17.30	17.99	**18.79**	17.79	16.40	15.17	**17.03**	15.32	11.94
5	24.67	22.46	22.34	20.72	19.02	18.54	**20.69**	20.43	18.88	17.58	**18.47**	16.95	13.40
24	40.20	—	**41.26**	—	37.97	32 85	—	**35 45**	—	34 14	28.44	**32.34**	28.20
48	41.07	—	**44.78**	—	40.22	38.26	—	**42.88**	—	40.90	32.23	35.77	**36.40**
72	44.95	—	**47.71**	—	42.88	41.09	—	**47.72**	—	45.61	32.93	42.40	**43.91**
500	62.04	—	64.64	—	**65.77**	53.64	—	62.25	—	**67.02**	52.61	55.75	**58.53**

De l'inspection de ce tableau, il résulte que la vitesse initiale est la plus grande pour la solution aqueuse (A), et que cette vitesse diminue, pour les solutions alcooliques étudiées, à mesure que la concentration de l'alcool augmente. La température en s'élevant augmente également la vitesse initiale de réaction.

Mais lorsqu'on étudie le phénomène dans les stades ultérieurs, après un nombre d'heures plus considérable, on constate que, pour les températures les plus basses, le maximum de vitesse se maintient le plus longtemps dans les solutions aqueuses; à mesure que la température s'élève, le maximum de vitesse se déplace plus rapidement dans les diverses solutions alcooliques en passant successivement des concentrations les plus faibles aux concentrations les plus fortes.

Après vingt-quatre heures, on retrouve pour les trois températures étudiées le maximum de perte de zinc dans la solution C; plus tard, après cinq cents heures, le maximum passe dans tous les cas examinés dans la solution E, la plus concentrée en alcool. Toutefois, il faut remarquer que, pour la température la plus basse, le maximum de vitesse passe plus rapidement à la solution la plus concentrée en alcool, c'est-à-dire que le froid qui diminue la vitesse réactionnelle au début de la réaction, déplace le maximum de vitesse de la solution aqueuse aux diverses solutions alcooliques plus rapidement que pour les deux autres températures.

Dans une communication préliminaire faite en avril 1903 au dernier Congrès de La Haye (*), nous avons démontré que la substitution du sulfate de cuivre par le zinc est accompagnée de la formation de sulfate basique

(*) *Secondaire reacties bij het neerslaan van koper uit kopersulfaat.*

de zinc; nous avions d'ailleurs annoncé dans notre première communication (*) que le précipité renfermait du zinc ou des combinaisons de zinc. Les développements qui suivent montrent que la réaction est double : substitution métallique avec précipitation de cuivre et formation de sulfate basique de zinc insoluble. Durant les premières heures de la réaction, c'est la substitution métallique qui a le rôle capital; dans les stades ultérieurs, c'est, au contraire, la précipitation de sulfate basique de zinc. Le froid ainsi que l'alcool retardent la substitution métallique, activent au contraire la formation des sels basiques, et c'est précisément en raison de ces variations que l'on peut expliquer les déplacements plus ou moins rapides du maximum de vitesse dans les diverses solutions étudiées.

Nous avons précédemment fait remarquer que la quantité de zinc dissous est supérieure à la quantité correspondante de cuivre que peut abandonner la solution employée; la réaction totale, c'est-à-dire la précipitation complète du cuivre métallique présent, exige théoriquement la dissolution de 20.96 % de zinc. Dans tous les cas étudiés, cette quantité est notablement dépassée.

Pour élucider cette question, nous avons non seulement déterminé la perte de poids du zinc employé, mais encore déterminé la composition quantitative du précipité qui se produit pendant la réaction, ainsi que celle de la solution où la réaction se produit. Nous avons à cet effet étudié de façon complète la réaction dans la solution aqueuse, respectivement après 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 12, 18 et 24 heures, à la température de 24-25° C. Après les temps indiqués, nous avons séparé, par filtration, le précipité

(*) *Loc. cit.*

produit dans les dix vases de Berlin d'une série, de la dissolution où le précipité s'est produit. Le précipité, lavé de façon à réunir les eaux de lavage à la dissolution elle-même, a été recueilli sur un filtre taré, desséché à une température de 90° jusqu'à poids constant, et enfin pesé.

Le précipité est dissous dans l'acide nitrique, et la solution ainsi obtenue, de même que la dissolution que la filtration a permis de séparer du précipité lui-même, ont été analysées par électrolyse pour séparer le cuivre du zinc. Le zinc lui-même a été dosé par précipitation au moyen de carbonate de sodium, dans le liquide débarrassé du cuivre.

Le tableau suivant (p. 354) résume cette recherche spéciale.

Si l'on retranche du poids du précipité le poids du cuivre trouvé par analyse, on obtient le poids des combinaisons zinciques contenues dans ce précipité, et si l'on fait le rapport entre le poids des composés zinciques et le poids du zinc contenu dans ces composés, on obtient des valeurs comprises entre 1.60 et 1.89. Or ces valeurs se rapprochent des rapports suivants :

$$\frac{ZnO.\ ZnSO_4}{2Zn} = \frac{2428}{1308} = 1.85,$$

et

$$\frac{2ZnO.\ ZnSO_4}{3Zn} = \frac{3242}{1962} = 1.65.$$

La présence du groupement SO_4 dans le précipité a été constatée analytiquement. Ces faits démontrent que le précipité est un mélange de cuivre avec les sulfates basiques $ZnO.ZnSO_4$ et $2Zn.ZnSO_4$, et expliquent la dissolution du zinc, pendant et après la précipitation complète du cuivre métallique.

TEMPS EN HEURES.	POIDS DU ZINC		PERTE DE POIDS		POIDS DU PRÉCIPITÉ.	ANALYSE DU PRÉCIPITÉ.		ANALYSE DU FILTRAT.	
	avant la réaction.	après la réaction.	en grammes.	en °/o.		Cuivre.	Zinc.	Cuivre.	Zinc.
1	12,1883	11,1078	1,0805	8.87	1,0744	1.0120	0.0389	1.4820	1.0285
2	12,1694	10,3245	1,8449	15.15	1,8076	1.6940	0.0681	0.8160	1.7741
3	12,1649	10,0061	2,1588	17.74	2,1639	1.9680	0.1052	0.5240	2.0490
4	12,1992	9,7156	2,4836	20.36	2,7337	2.1460	0.3667	0.3520	2 0988
5	12,2151	9,2240	3,0211	24.67	3,6819	2 3820	0.6842	0.1140	2.3398
6	12,2526	9,0264	3,2262	26.33	4,0723	2.4464	0.9008	0 0500	2.3580
7	12,3005	8,9154	3,3851	27.52	4,3800	2.4880	1.0406	0.0260	2.3686
8	12,3012	8,5158	3,7854	30.77	5,2372	2.5040	1.4234	0	2.3498
9	12,2682	8,4168	3,8514	31 39	5,3687	2.5280	1.5764	0	2.3198
12	12,2467	8,1897	4,0570	33.12	5,8421	2.5140	1.9138	0	2.1368
18	12,4209	7,7555	4,6654	37.56	7,3040	2.4900	2.7302	0	1 9460
24	12,1133	7,2422	4,8711	40.21	7,6655	2.5040	2.9900	0	1.8420

TEMPS EN HEURES.	POIDS du précipité.	POIDS du cuivre dans le précipité.	POIDS des combinaisons zinciques dans le précipité.	POIDS du zinc dans le précipité.	RAPPORTS.
1	1,0744	1,0120	0,0624	0,0389	$^{624}/_{389} = 1.60$
2	1,8076	1,6940	0,1136	0,0681	$^{1136}/_{681} = 1.67$
3	2,1639	1,9680	0,1959	0,1052	$^{1959}/_{1052} = 1.86$
4	2,7337	2,1460	0,5877	0,3667	$^{5877}/_{3667} = 1.60$
5	3,6819	2,3820	1,2999	0,6842	$^{12999}/_{6842} = 1.89$
6	4,0723	2,4464	1,6259	0,9008	$^{16259}/_{9008} = 1.80$
7	4,3800	2,4880	1,8920	1,0406	$^{18920}/_{10406} = 1.82$
8	5,2372	2,5040	2,7332	1,4234	$^{27332}/_{14234} = 1.92$
9	5,3687	2,5280	2,8407	1,5764	$^{28407}/_{15764} = 1.80$
12	5,8421	2,5140	3,3281	1,9138	$^{33281}/_{19138} = 1.74$
18	7,3040	2,4900	4,8140	2,7302	$^{48140}/_{27302} = 1.76$
24	7,6655	2,5040	5,1615	2,9900	$^{51615}/_{29900} = 1.72$

Il résulte de tous ces chiffres que la teneur en zinc du filtrat, donc du liquide réagissant, diminue après un certain temps, à partir de la septième heure dans le cas qui nous occupe, précisément au moment où tout le cuivre a disparu de la solution ; ce fait correspond parfaitement avec la présence du groupement SO_4 dans le précipité, lequel groupement a la propriété de maintenir le zinc en dissolution. Mais si le nombre des ions SO_4 diminue dans la solution, en se précipitant sous forme de sulfate basique, il est facile de comprendre aussi que le nombre des ions Zn diminue dans la même proportion.

Le nombre des ions diminue donc à mesure que la réaction se poursuit; ce phénomène ne se produit qu'en présence du cuivre précipité, car lorsqu'on introduit des fragments de fil de zinc dans une solution neutre de sulfate de zinc, il ne se produit pas la moindre précipitation. On sait que d'autres métaux, notamment le magnésium (*), se comportent différemment; ce métal, en effet, donne des sels basiques insolubles quand il se trouve plongé dans la solution neutre de ses sels.

Les développements qui précèdent nous permettent de maintenir l'explication que nous avons donnée dans notre première communication au sujet de la précipitation du cuivre par le zinc, en solution neutre. Nous basant sur la théorie des ions mobiles de Reichler, nous admettons que l'hydrolyse permet l'attaque ultérieure du zinc :

$$Cu(Zn)SO_4 + 2H_2O = Cu(Zn)(OH)_2 + H_2SO_4.$$

L'acide sulfurique formé attaque le zinc, dégage de

(*) G. Lemoine, *Comptes rendus*, Paris, 1899, *129*, p. 291.

l'hydrogène et produit du sulfate de zinc. Le sulfate de zinc formé augmente le nombre des molécules d'eau aux dépens des particules de ce liquide :

$$(H_2O)_n + ZnSO_4 = (H_2O)_{n-2} + 2H_2O + ZnSO_4,$$

et les molécules d'eau formées produisent de l'hydroxyde de zinc et de l'acide sulfurique :

$$2H_2O + ZnSO_4 = Zn(OH)_2 + H_2SO_4.$$

Comme l'équilibre entre le nombre des molécules et des particules de l'eau de dissolution se trouve sans cesse rompu, il en résulte que le zinc est attaqué de plus en plus: l'hydroxyde de zinc formé se combine alors au sulfate de zinc lui-même pour former du sulfate basique de zinc et diminuer de plus en plus le nombre des ions.

L. Kahlenberg (*) et ensuite Ch. F. Roberts et L. Brown (**) ont publié récemment le résultat de leurs recherches sur l'action du magnésium sur les dissolutions salines et sur des dissolutions de substances indifférentes. Kahlenberg a trouvé que l'alcool active l'attaque du magnésium par l'eau; cette attaque par l'eau est très faible, nulle selon Roberts et Brown, quand l'eau est exempte de gaz.

Kahlenberg mesure l'intensité de la réaction par le volume d'hydrogène dégagé et il trouve ainsi les chiffres comparatifs suivants pour des fils de magnésium de 0^m005 d'épaisseur et de 0^m0575 de longueur, présen-

---

(*) *Journ. Amer. Chem. Soc.*, 1903, *25*, 380.
(**) *Idem*, 1903, *25*, 801.

tant à l'attaque une surface totale de 1200 millimètres carrés :

	2.5 h.	23.5 h.	47.5 h.	53 h.
Eau distillée	0cc02	0cc10	1cc50	1cc80
Eau + alcool (2 gr. mol. par litre) .	0cc10	0cc40	7cc60	7cc80

En raison de la complication que présentent les réactions entre solides et liquides, des faibles quantités de substance mises en œuvre et du nombre restreint des essais effectués, nous avons douté de l'exactitude des résultats obtenus par Kahlenberg, qui sont, au point de vue de la vitesse réactionnelle au début de la réaction, en contradiction complète avec nos expériences. Aussi avons-nous répété les essais de Kahlenberg avec l'eau et l'alcool, et nous sommes arrivés à des résultats qui diffèrent de ceux de Kahlenberg et montrent que la technique suivie par ce chimiste est défectueuse, car elle conduit à des résultats très variables :

Premier essai.

	3 h.	48 h.	72 h.
Eau	0cc5	1cc0	1cc3
Eau + alcool (2 gr. mol. au litre). . .	0cc9	1cc3	1cc4

Deuxième essai.

	5 h.	24 h.	48 h.	96 h.	144 h.
Eau.	0cc5	0cc9	1cc35	1cc95	2cc10
Eau + alcool (2 gr. mol. par litre).	0cc6	0cc8	0cc90	1cc05	1cc10

Il est certain, d'autre part, que la présence des sels active la réaction, ainsi que l'a d'ailleurs démontré Tommasi (*). Kahlenberg admet que la présence des sels augmente la concentration en ions H, attendu que l'eau pure est pour ainsi dire dépourvue de conductibilité électrique ; la formation d'acide libre explique facilement l'attaque plus considérable du métal.

Mais, si la chose s'explique dans le cas de la présence de sels, il n'en est plus de même pour les solutions alcooliques ; et si l'alcool accélère la vitesse réactionnelle après un certain temps, il faut chercher une autre explication que celle de la dissociation. Ainsi que l'ont montré C. A. Lobry de Bruyn et C. L. Jungius (**) dans le cas du sulfate de nickel, l'alcool diminue la conductibilité électrique et par conséquent aussi la dissociation électrolytique.

Dans nos expériences sur la réaction entre le zinc et le sulfate de cuivre, l'alcool doit nécessairement aussi

(*) *Bull. de la Soc. chim.*, Paris, 1899, *21*, 885.
(**) *Handel. Acad.*, Amsterdam, 1903, 156.

retarder la substitution métallique elle-même; mais si, après quelque temps, il se produit des phénomènes simultanés, comme par exemple la production de sels basiques insolubles, on comprend aisément que l'alcool puisse alors exercer une action toute spéciale quand la solution modifie à la fois sa concentration et les conditions de son équilibre.

Nous avons déjà commencé une nouvelle série de recherches pour déterminer de quelle manière certains acides et certaines bases modifient la réaction que nous étudions, et il sera intéressant de comparer les résultats auxquels nous serons arrivés avec ceux que de la Rive (*), W. Spring et E. Van Aubel (**), Kajander (***), T. Ericson Aurén et W. Palmaer (iv) et d'autres ont obtenus dans l'étude de l'action des métaux sur les acides.

—

Sur quelques réactions de sels uraneux et manganeux (v); par le Dr W. Oechsner de Coninck, professeur à l'Université de Montpellier.

C'est une réaction bien connue que celle qui consiste à faire réagir l'acide azotique sur une dissolution de sulfate ferreux, simple ou additionnée d'acide sulfurique, lorsqu'on veut préparer le bioxyde d'azote.

(*) *Ann. chim. phys.*, 1830, *43*, 425.

(**) *Idem*, 1887 (6), *11*, 505.

(***) *Chem. Ber.*, 1881, *14*, 2053, 2677.

(iv) *Zeitschr. physik. Chem.*, 1902, *39*, 1 et 1903, *45*, 182. *Zeitschr. anorg. Chem.*, 1901, *27*, 209.

(v) Recherches faites à l'Institut de chimie générale (Université de Montpellier).

Il m'a paru intéressant de rechercher si l'acide azotique réagirait de même façon sur le sulfate uraneux, le sulfate manganeux et le chlorure manganeux.

1° Du sulfate uraneux pur (35 grammes) a été dissous dans 200 grammes d'eau distillée; la solution a été chauffée d'une manière très progressive. Avant l'ébullition, on a, au moyen d'un tube à brome, fait couler de l'acide nitrique ordinaire dans la solution, puis celle-ci a été portée à l'ébullition tranquille. Dans ces conditions, la liqueur, qui était verte avec des reflets jaunâtres, est devenue nettement jaune par suite de la transformation du sulfate uraneux en sulfate uranique, mais il ne s'est pas dégagé d'oxydes de l'azote ;

2° La même expérience a été répétée avec une solution aqueuse de sulfate uraneux qui a été additionnée, à froid, de 25 grammes d'acide sulfurique ordinaire. On a élevé la température plus lentement encore que dans l'expérience précédente et l'on n'est pas allé jusqu'à l'ébullition; il ne s'est pas dégagé non plus d'oxydes de l'azote;

3° 40 grammes de sulfate manganeux pur et bien cristallisé ont été dissous dans 230 grammes d'eau distillée; l'expérience a été conduite comme pour le sulfate uraneux; le résultat a été également négatif ;

4° Une solution de sulfate manganeux, possédant à peu de chose près le même titre, a été additionnée de 25 grammes d'acide sulfurique ordinaire; puis elle a été chauffée progressivement et, enfin, additionnée par petites portions d'acide nitrique blanc et pur; résultat négatif;

5° 50 grammes de chlorure manganeux pur, et en beaux cristaux roses, ont été dissous dans 250 grammes d'eau distillée; l'expérience, menée comme les précédentes,

n'a pas fourni de résultat positif en ce qui concerne les oxydes de l'azote;

6° 50 grammes de chlorure manganeux pur ont été dissous dans 230 grammes d'eau distillée; j'ai ajouté 50 grammes d'acide sulfurique et j'ai chauffé peu à peu. Aussitôt que l'acide azotique est arrivé au contact de la liqueur, celle-ci a bruni et il s'est établi un dégagement gazeux intense, qui devient tumultueux si l'on porte la solution à l'ébullition. Il se dégage d'abord du chlore, puis des vapeurs nitreuses :

$$1)\quad MnCl^2 + SO^4H^2 = 2HCl + SO^4Mn;$$

$$2)\quad 2HCl + Az^2O^5 = H^2O + Cl^2 + Az^2O^4.$$

En vertu du changement de coloration produit, on pourrait supposer que le chlore se porte temporairement sur une partie du chlorure manganeux et transforme celui-ci en tétrachlorure de manganèse, lequel, la température aidant, et à cause de son peu de stabilité, abandonnerait aussitôt la moitié de son chlore.

$$a)\quad MnCl^2 + Cl^2 = MnCl^4;$$

$$b)\quad MnCl^4 = MnCl^2 + Cl^2.$$

Montpellier, le 20 janvier 1904.

—

Sur les oxydes et sur le carbonate d'uranium (*); par le Dr W. Oechsner de Coninck, professeur à l'Université de Montpellier.

I.

J'ai obtenu, en 1901 (**), une modification rouge de l'oxyde uranique, en calcinant brusquement du nitrate d'uranium pur et neutre. Soumise elle-même à une longue calcination à l'air dans une capsule de platine, cette modification s'est partiellement et peu à peu transformée en oxyde uraneux brun :

$$UO^3 = UO^2 + O.$$

La modification orange de l'oxyde uranique a subi la même transformation, mais moins lentement. Cela tient, vraisemblablement, à ce que la modification rouge *est une forme non seulement allotropique mais polymérique* de la modification orange, et à ce que la première action de la chaleur consiste à lui faire subir une dépolymérisation. Je propose donc de représenter le phénomène par les deux équations suivantes :

$$1)\quad \underset{\text{modific. rouge.}}{(UO^3)^2} = \underset{\text{modific. orange.}}{2UO^3}$$

$$2)\quad 2UO^3 = 2UO^2 + 2O.$$

(*) Institut de chimie de l'Université de Montpellier

(**) Académie des sciences. Paris, janvier 1901.

J'ai essayé de cryoscoper la modification rouge au sein de l'acide acétique, mais les résultats obtenus ont montré que la liqueur renfermait, outre l'oxyde, une combinaison de cet oxyde avec $CH^3 - CO^2H$. M. Amé Pictet, en cryoscopant les acides acétonitrique et acétochromique, a rencontré des particularités du même ordre (*).

II.

J'ai essayé de préparer le carbonate d'uranium, $CO^3(UO^2)$, dont l'existence avait été annoncée par M. Parkmann, en traitant une solution aqueuse récemment préparée de nitrate d'uranium par une solution aqueuse de carbonate de potassium renfermant moins d'une molécule de ce dernier sel. En outre, j'avais soin d'ajouter le carbonate alcalin par petites portions.

Dans ces conditions, j'ai obtenu un précipité jaune clair, je l'ai séché à 100° et j'y ai dosé CO^2; j'ai trouvé 16.98; 17.23; 17.14 % de CO^2, ce qui correspond à un mélange de carbonate d'uranium et de carbonate double d'uranyle et de potassium. Ce précipité, étant calciné fortement, devient orangé, puis rouge orangé.

Dans le résidu, qui est insoluble, on trouve une petite quantité d'uranate, UO^4K^2, et de l'hydrate UO^3,H^2O, ce qui est conforme aux observations d'Ebelmen.

Si l'on traite le précipité par l'eau, on remarque que l'eau de lavage est colorée en jaune clair; l'évaporation de cette liqueur jaune laisse déposer de l'hydrate UO^3,

---

(*) Archives de Genève, numéro de juin 1903, pp. 589 et suiv.

H^2O, qui entraîne, le plus souvent, une petite quantité de carbonate double d'uranyle et de potassium. Mais, dans le dépôt ainsi formé, je n'ai pas rencontré d'uranate UO^4K^2, ce qui est contraire aux assertions de plusieurs auteurs.

J'ai enfin procédé à un lavage méthodique du précipité, espérant entraîner le sel double et obtenir le carbonate uranique pur. Le sel lavé était de couleur orangée. L'analyse a montré qu'il était constitué par un mélange de carbonate et d'oxyde uraniques :

	Théorie pour $CO^3(UO^2)$:	Trouvé :
%	$CO^2 = 13.25$	10.97; 11.12
	$UO^3 = 86.74$	89.02; 88.92.

OUVRAGES PRÉSENTÉS.

Mourlon (*Michel*). Encore un mot sur les travaux du Service géologique de Belgique. Bruxelles, 1904; in-8° (12 p.).

Neuberg (*J.*). Ueber neuere Dreiecksgeometrie. Leipzig, 1902; extr. in-8° (7 p.).

— Sur les quadrangles et les quadrilatères paralogiques. — Sur le complexe de Grassmann. — Sur quelques cas particuliers d'un théorème de Grassmann. Gand, 1904; extr. in-8° (6 + 5 + 5 p.).

Lebeau (*Victor*) et *Neuberg* (*J.*). Sur un nouveau curvigraphe. Sur les lignes tracées par le curvigraphe Lebeau. Bruxelles, 1904; extr. in-8° (39 p. et pl.).

Lohest (*Max*), *Habets* (*Alfred*) et *Forir* (*Henri*). La géologie et la reconnaissance du terrain houiller du Nord de la Belgique. Liége, 1904; in-8° (59 p.).

Doudou (*Ernest*). Note sur des graines de végétation trouvées dans la brèche préhistorique de la seconde grotte d'Engis (Belgique). Paris, 1904; extr. in-8° (12 p.).

Fiévez (*Charles*). A.-F. Renard. Éloge fait à la Société belge d'astronomie. Bruxelles, 1904; in-8° (8 p., portrait).

—

Allemagne et Autriche-Hongrie.

Halle. *Kaiserl. Akademie der Naturforscher.* Abhandlungen, Band 80 und 81. Leopoldina, Hefte 37-39. 1902-1903; in-4°.

Munich. *Kön. Akademie der Wissenschaften.* Ueber wissenschaftliche Wahrheit. Rede am 15 Nov. 1902, von Dr. Karl von Zittel. 1902; in-4°.

— Justus von Liebig nach dem Leben gezeichnet. Rede am 11. März 1903, von Georg Knapp. 1903; in-4°.

Thorn. *Coppernicus-Verein.* Mitteilungen, XIII. Heft. Geschichte des Vereins in dem ersten halben Jahrhundert seines Bestehens, am 19. Februar 1904. In-8°.

Prague. *Kön. Gesellschaft der Wissenschaften.* Sitzungsberichte, 1903. Jahresbericht, 1903.

Iéna. *Medicinische Gesellschaft.* Denkschriften, Band XII; neubiologische Arbeiten, von Oskar Vogt, Text und Atlas. 1904; in-4°.

— Festschrift zum 70. Geburtstag von Ernst Haeckel. 1904; in-4° (16 Tafeln und 109 Abbildungen).

—

Herrera (*Alphonse*). Nociones de biologia. Mexico, 1904; in-8° (251 p.).

WASHINGTON. *National Museum*. Proceedings, vol. XXVI. 1903.

—

FRANCE.

Moissan (*Henri*). Classification des corps simples. Paris, 1904; in-8° (38 p.).

Rivière (*Émile*). Allocution présidentielle : Sur les silex taillés pliocènes. Les perçoirs en silex à pointes multiples. Paris, 1904; extr. in-8° (8 p.).

— La flore quaternaire des cavernes. Paris, 1904; extr. in-8° (7 p.).

Mouneyrat (*A.*). La purine et ses dérivés. Paris, 1904; pet. in-8° (98 p.).

—

LONDRES. *Royal Society*. The Atoll of Funafuti. Borings into a coral reef and the results being the report of the coral reef committee. 1904; in-4° (text and maps).

DEHRA-DUN. *Trigonometrical Survey of India*. Account of the operation, vol. XVII. 1901; in-4°.

CALCUTTA. *Meteorological Office*. Memoirs, vol. XIV. 1902; in-4°.

GREENWICH. *Observatory*. Observations and results. 1900.

SYDNEY. *Royal Society*. Journal and proceedings, vol. XXXVI. 1903.

—

MILAN. *Fondazione scientifica Cagnola*. Atti, vol. XVIII. 1899-1903.

NAPLES. *Accademia Pontaniana*. Atti, vol. XXXIII. 1903.

Batavia. *Genootschap van Kunsten en Wetenschappen.* De Tjandi Mendoet voor de restauratie, door B. Kersjes en C. Den Hamer. 1903; in-4°.

Gautier (*R.*). Résumé météorologique de l'année 1902 pour Genève et le Grand Saint-Bernard. Genève, 1903; in-8°.

— Observations météorologiques faites aux fortifications de Saint-Maurice pendant l'année 1902. Genève, 1903; in-8°.

Stockholm. *Offentliga Bibliothek.* Accessions-Katalog. 1901.

Lund. *Université.* Acta, 1902, XXXVIII.

Madrid. *Instituto geografico y estadistico.* Memorias, tomos XI y XII. 1899-1903.

ERRATUM.

PROGRAMME DU CONCOURS ANNUEL POUR 1904.

Texte *exact* de la question sur l' « Amphioxus » qui doit remplacer le texte figurant pages 207-208 du *Bulletin* de mars 1904, dans lequel une erreur a été introduite pendant la revision des épreuves.

On demande de nouvelles recherches sur le développement de l'Amphioxus, spécialement sur la segmentation, la fermeture du blastopore, la genèse de la notochorde, du névraxe et du mésoblaste. On désire voir élucider la question de savoir si le chevauchement que l'on observe, chez l'adulte, entre les organes homodynames de droite et de gauche est primitif ou secondaire. — Prix : 1,000 francs.

ACADÉMIE ROYALE DE BELGIQUE

BULLETIN

DE LA

CLASSE DES SCIENCES

1904. — N° 4.

CLASSE DES SCIENCES.

Séance du 16 avril 1904.

M. Léon Fredericq, directeur.

M. le chevalier Edmond Marchal, secrétaire perpétuel.

Sont présents : MM. P. De Heen, *vice-directeur;* G. Dewalque, Éd. Dupont, Éd. Van Beneden, C. Malaise, F. Folie, F. Plateau, Jos. De Tilly, Ch. Van Bambeke, Alfr. Gilkinet, G. Van der Mensbrugghe, W. Spring, Louis Henry, M. Mourlon, C. Le Paige, J. Deruyts, J. Neuberg, A. Lancaster, Leo Errera, Julien Fraipont, A. Jorissen, P. Francotte, Paul Pelseneer, *membres;* M. Delacre, A. Gravis et Aug. Lameere, *correspondants.*

CORRESPONDANCE.

—

M. le Ministre de l'Intérieur et de l'Instruction publique fait parvenir une expédition de l'arrêté royal du 20 mars dernier qui institue un prix de la *Belgica* à décerner par la Classe des sciences de l'Académie royale de Belgique et fixe les conditions pour l'attribution de ce prix.

— M. le Ministre de l'Industrie et du Travail envoie, pour la bibliothèque de l'Académie, un exemplaire de chacune des feuilles énumérées ci-après de la Carte géologique de la Belgique au 40 000e.

Tongres-Herderen, Waremme-Momalle, Alleur-Liége, Hertain-Tournai, Antoing-Leuze, Wasseiges-Braives, Sartine-Rongy, Laplaigne-Péruwelz, Belœil-Baudour, Jurbise-Obourg, Mons-Givry, Aulnois-Grand'Reng, Aye-Marche.

— Remerciements.

La Société royale asiatique (branche de Bombay) annonce qu'elle célébrera son centenaire le 17 janvier 1905.

— Le Comité d'organisation du Congrès international de botanique communique les documents relatifs à cette session, qui se tiendra du 12 au 18 juin 1905, à Vienne.

— Hommages d'ouvrages :

1° *Résultats des campagnes scientifiques accomplies sur son yacht par S. A. Albert Ier, prince souverain de Monaco*, fascicule XXV;

2° *Traité de chimie minérale*, tome Ier (*Métalloïdes*) et tome III (*Métaux*); par Henri Moissan, associé (présenté par M. le Secrétaire perpétuel);

3° *Recherches sur l'hydrodynamique*, 2e série; par Pierre Duhem, associé;

4° *Observatoire royal de Belgique. Annuaire météorologique pour 1904;* par A. Lancaster;

5° *Compte rendu sommaire de la neuvième session du Congrès géologique international, qui s'est tenue à Vienne en août 1903;* par M. Mourlon;

6° *Traité de chimie analytique*, tome Ier (*Analyse par la voie sèche ou au chalumeau*), 4e édition; par C. Blas;

7° *Cours de trigonométrie à l'usage des candidats aux écoles spéciales;* par E. Barette;

8° *Ueber die eocambrische Cephalopodengattung* Volborthela *Schmidt;* par A. Karpinsky;

9° *Ueber ein merkwürdiges Groruditgestein aus dem Transbaikal-Gebiete;* par le même (ouvrages présentés par M. Mich. Mourlon);

10° *La roche kératophyrique de Grand-Coô;* par E. Mathieu (présenté par M. C. Malaise, avec une note qui figure ci-après).

— Remerciements.

— Les travaux manuscrits suivants sont renvoyés à l'examen :

1° *Sur la synthèse de l'acide stéarique et sur les*

décharges électriques; par le professeur Alex. de Hemptinne. — Commissaires : MM. Spring et De Heen;

2° *Sur une des causes de l'accélération séculaire du mouvement de la Lune;* par A. Jouveneau. — Commissaires : MM. Lagrange et Le Paige;

3° *Essai de transformation en force motrice des différences de densité existant entre les gaz hydrogène et oxygène, par rapport à l'eau;* par M. Malvault, à Sirault. — Commissaire : M. De Heen.

NOTE BIBLIOGRAPHIQUE.

J'ai l'honneur d'offrir à la Classe, de la part de M. le capitaine du génie E. Mathieu, un travail sur *La roche kératophyrique de Grand-Coô.*

Des échantillons de la roche de Grand-Coô ont été communiqués simultanément, en avril 1903, à M. le professeur G. Dewalque par M. J. Massange, et à la Société belge de géologie, par M. G. Cumont, où ils furent remis à M. le capitaine Mathieu pour les étudier.

Notre savant confrère M. G. Dewalque a fait, à la séance de la Classe des sciences du 7 novembre 1903, une communication sur la pierre de Coô, qu'il considérait alors comme une roche feldspathique.

M. le capitaine Mathieu a donné des renseignements sur la roche de Coô à la séance du 20 octobre 1903 de la Société belge de géologie; il la considérait alors comme une porphyroïde éruptive. A la séance du 17 novembre 1903, il a communiqué ses nouvelles obser-

vations sur la position de la roche de Grand-Coô et sur ses prolongements.

Dans une excursion où j'accompagnais M. E. Mathieu, nous avons pu constater qu'elle se prolongeait à l'ouest dans le bois de Lahister et à l'est, à proximité de la cascade de Coô. En effet, les échantillons altérés, pris aux endroits précités, ont présenté à M. Mathieu les mêmes caractères lithologiques que la roche elle-même.

Le 13 décembre 1903, M. E. Mathieu a présenté à la Société belge de géologie un travail analytique et micrographique sur la roche de Grand-Coô, qu'il considère comme une roche kératophyrique, en réservant, pour le moment, la question de savoir si elle est épanchée ou si elle appartient à la catégorie des tufs.

C. Malaise.

RAPPORTS.

Sur l'avis favorable de M. Neuberg, la Classe décide l'impression, dans sa nouvelle forme, d'un mémoire de M. Cl. Servais, *Sur les faisceaux de surfaces du second ordre*, revision demandée à l'auteur comme suite aux rapports des commissaires lus dans la séance du 5 décembre dernier. Ce mémoire paraîtra dans le Recueil in-8°.

— Conformément aux conclusions du rapport de MM. Spring et Henry, la quatrième communication de M. Ad. Vandenberghe, sur l'*Étude de la dissociation des*

corps dissous, sera renvoyée à l'auteur avec le rapport précité, avant que la Classe s'occupe de l'impression de ce travail.

—

Quelques observations nouvelles sur les oxydes d'uranium; par le Dr W. Oechsner de Coninck.

Rapport de M. W. Spring.

« Continuant ses recherches sur les composés de l'uranium, M. Oechsner de Coninck a découvert, à présent, diverses modifications de l'oxyde uraneux UO, selon que l'on soumet à la réduction par l'hydrogène l'oxyde uranique, le chlorure ou le bromure d'uranyle.

Je propose l'insertion de cette note dans le *Bulletin* de la séance. » — Adopté.

—

Sur la circulaire de la Société Royale de Londres tendant à l'adoption, par l'Association internationale des Académies, d'un vœu présenté par le Congrès géologique international de Vienne à l'effet de définir les branches des recherches géologiques pour lesquelles la coopération internationale est désirable.

Rapport de M. G. Dewalque, premier commissaire.

« La Classe des sciences nous a fait l'honneur de nous demander un avis sur la proposition indiquée dans le long titre dont nous venons de donner lecture. Nous croyons devoir commencer par traduire la plus grande partie de cette circulaire.

« A la réunion du Congrès géologique international,

qui a eu lieu à Vienne au mois d'août dernier, on a résolu de solliciter l'aide de l'Association internationale des Académies, pour obtenir une coopération internationale dans les recherches qui, quoique d'un grand intérêt pour les géologues, embrassent des mesures géodésiques et autres qui sortent de la sphère ordinaire des investigations géologiques. Un comité a été formé en vue de présenter une proposition à l'Association internationale des Académies. Ce comité a choisi trois sujets de haute importance qu'il nous prie de soumettre à l'Association :

1° L'établissement de stations sismologiques réparties sur toute la surface du monde et pourvues d'instruments du même type, pour permettre une comparaison précise des résultats;

2° Déterminations précises des altitudes dans des chaînes de montagnes sujettes à des tremblements de terre, en vue de déterminer si de telles chaînes sont stables ou sont soumises à des mouvements d'élévation ou d'abaissement;

3° Détermination de l'intensité de la pesanteur, en vue de jeter de la lumière sur la distribution interne des masses dans la terre et sur la rigidité, ou « isostase », de la croûte terrestre, ce qui intéresse diverses questions géologiques.

Le Congrès géologique pense que, pour le premier sujet, l'Association sismologique internationale, qui va bientôt commencer son travail, sera probablement capable d'atteindre au but désiré, et que les deux autres sujets rentrent dans la compétence de l'Association géodésique internationale. Mais quelques-unes de ces recherches demandent beaucoup de travail et de frais, et dans l'opinion du Congrès, elles auraient bien plus de

chances d'être entreprises et activement poursuivies si elles recevaient l'appui et l'encouragement de l'Association internationale des Académies. Si l'Association approuve cette proposition, le Congrès géologique espère qu'elle présentera ces sujets à l'attention de l'Association sismologique et de l'Association géodésique, et que, si des crédits extraordinaires sont nécessaires dans ce but, l'Association emploiera son influence auprès des gouvernements des différents États pour procurer l'assistance demandée. »

L'Académie s'empressera sans doute d'accueillir ces vœux.

Auparavant, nous demanderons à présenter quelques remarques.

1° Pour les observations des tremblements de terre, tout est à faire, ou à peu près, chez nous. En 1879, sur notre proposition, la Société géologique de Belgique, à Liége, s'adressa à M. le Ministre des travaux publics pour le prier de donner les instructions nécessaires aux fonctionnaires de son département qui sont à même de s'occuper de ces observations. Notre demande ne fut agréée que d'une manière fort incomplète. Nous avions demandé que l'heure fût contrôlée immédiatement à l'observatoire de Bruxelles; M. le Ministre, considérant que l'heure est donnée chaque matin à toutes les stations du pays, trouva ce contrôle superflu. Mais, si les stations reçoivent chaque matin l'heure de Bruxelles, elles ne sont tenues de toucher à leur horloge que si l'écart est au moins de deux minutes; il y a donc une tolérance de deux minutes en plus ou de deux minutes en moins, ce qui fait quatre minutes pour deux stations différentes. Bientôt le tremblement de terre du 18 octobre 1881

démontra combien était nécessaire le contrôle que nous avions demandé : il fut reconnu que les bureaux télégraphiques avaient donné l'heure *à quelques minutes près*. Depuis lors, nous avons installé deux pendules à l'université de Liége; nous avons un sismographe De Lasaulx (sans horloge) à Spa; la Société belge de géologie, à Bruxelles, a installé dans le Hainaut une station sur laquelle nous sommes fort incomplètement renseigné.

La première chose à faire serait donc de prier le Gouvernement de compléter l'installation de l'observatoire d'Uccle, s'il y a lieu; d'installer un pareil outillage à celui de Cointe et à la station du Hainaut, le tout conformément aux instructions de l'Association sismologique internationale.

2° Le deuxième point est, comme le précédent, étranger à la géologie, au moins en ce sens qu'il réclame l'activité des géodésiens et non celle des géologues; mais il n'en intéresse pas moins l'Académie.

Il s'agit de déterminer si l'altitude de l'Ardenne, région particulièrement sujette aux tremblements de terre, est stable ou non. Ici encore nous avons le regret de devoir reconnaître que la Belgique ne possède aucun nivellement de précision. Si l'on veut que nous tenions honorablement notre rang dans le concert européen, il faut, sans tarder, s'occuper d'un nivellement à travers la crête de l'Ardenne. Nous voudrions voir établir une entente avec le Gouvernement prussien pour le nivellement du polygone Spa, Goé, Baraque-Michel, signal de Botrange, Malmedy, Stavelot, Malchamps et Spa.

Il est évident qu'un tel nivellement devrait être renouvelé de temps à autre, notamment après un tremblement de terre. Comme il existe déjà une Association géodési-

que internationale, il est naturel qu'elle ait la haute direction de l'entreprise et que notre délégué à cette Association exécute le travail qu'elle lui indiquera.

3° Le troisième point, relatif à l'intensité de la pesanteur, rentre aussi dans la compétence de l'Association géodésique internationale. On trouvera, nous l'espérons, à Uccle et à Cointe, les éléments nécessaires pour ces recherches, sans préjudice d'autres établissements. Mais, comme pour les deux points précédents, l'appui de l'Association internationale des Académies est nécessaire pour seconder les efforts à faire en vue d'obtenir des gouvernements les subsides nécessités par des travaux de si grande importance.

Nous estimons donc que l'Académie, reconnaissant l'importance de ces considérations, donnera à son délégué auprès de l'Association internationale des Académies la mission d'appuyer, lors de la prochaine session à Londres, le vœu émis par le Congrès géologique de Vienne. »

—

Rapport de M. Mourlon, deuxième commissaire.

« La Classe a bien voulu soumettre à mon examen deux propositions dont la Société royale de Londres saisira l'assemblée triennale de l'Association internationale des Académies, qui se tiendra à Londres lors des fêtes de la Pentecôte et qui ont pour objet :

1° De solliciter la collaboration des Académies pour son *International Catalogue of scientific literature*, à l'effet de coopérer à sa production dans leurs pays respectifs, en faisant l'indexation des publications scientifiques au moment de leur apparition;

2° De donner suite aux décisions du Congrès international de géologie qui a eu lieu en août dernier à Vienne, et qui consistent à solliciter l'appui de l'Association internationale des Académies en vue d'obtenir une coopération dans le monde entier pour l'établissement de stations sismologiques.

Pour ce qui est de la première proposition, je me permettrai de faire remarquer que la participation à la confection du *Catalogue international de la littérature scientifique* est déjà assurée, en ce qui concerne la Belgique, par l'Office international de bibliographie à Bruxelles, créé par arrêté royal du 12 septembre 1895.

Quant à la seconde proposition, au sujet de laquelle nous avons reçu de l'Académie des sciences de Paris le rapport imprimé, présenté dans sa séance du 15 février dernier par notre éminent associé M. A. de Lapparent, au nom de la Commission de sismologie, et ayant pour but de définir les branches de recherches géologiques pour lesquelles la coopération pourrait s'exercer avec le plus de fruit, je ne puis que m'y rallier d'autant plus volontiers que, par la création de nos stations géophysiques établies au fond du charbonnage de l'Agrappe (850 m.), ainsi qu'à Quenast, à Uccle et bientôt aussi à Col-Fontaine, les desiderata mentionnés ont déjà reçu un commencement d'exécution qui mérite assurément d'être encouragé par la suite. C'est assez dire que, de même que le rapporteur de la Commission de sismologie de l'Académie des sciences de Paris, je crois pouvoir engager la Classe à autoriser son délégué auprès de l'Association internationale des Académies à déclarer que notre Compagnie prend également sous son patronage le vœu formulé par le Congrès géologique de Vienne. »

M. Lancaster, troisième commissaire, a déclaré souscrire aux conclusions des rapports de MM. Dewalque et Mourlon.

COMMUNICATIONS ET LECTURES.

Un fait physique nouveau, d'une importance capitale pour la géophysique et l'astronomie sphérique; par F. Folie, membre de l'Académie.

Dans ma *Revision des constantes de l'astronomie stellaire,* j'ai donné la formule suivante des variations de vitesse de l'écorce terrestre :

$$\Delta\varphi = \nu\,[0.25 \sin 2\varphi + 2.15 \cos(2☾ - 2\varphi) + 0.92 \cos(2\odot - 2\varphi)],$$

formule dans laquelle φ désigne l'angle horaire du premier méridien, ν le coefficient de la nutation diurne, $\odot$ et ☾ les longitudes moyennes du Soleil et de la Lune.

Ces variations ayant une période semi-diurne, ne se présenteront pas en sens contraire, à six mois de distance, comme celles de la latitude.

Pour une Terre solide, on a $\nu = 0$ à une si minime quantité près que l'observation la plus parfaite serait absolument incapable d'en déceler l'existence.

Il en serait de même pour l'écorce terrestre, si elle n'était pas indépendante du noyau dans les mouvements à courte période.

Je disais déjà, dans ma *Théorie des mouvements diurne annuel et séculaire de l'axe du monde*, en 1884 :

« La nutation diurne n'est possible que si le mouvement de l'écorce solide est plus ou moins indépendant

de celui du noyau fluide qu'elle recouvre. Or la nutation diurne est prouvée par les meilleures observations. Cette indépendance existe donc. Pourquoi, dès lors, l'écorce n'obéirait-elle pas, dans son mouvement de rotation autour de son axe, aux attractions luni-solaires, de même que leur obéit l'Océan dans ses marées, dont les oscillations présentent la plus grande analogie avec celles de cette écorce?

» Ainsi donc, cette majestueuse horloge du ciel, sur la régularité absolue de laquelle les astronomes de tous les temps ont cru pouvoir étayer leurs observations, est sujette elle-même à des fluctuations périodiques, dans le court intervalle de quelques heures. Et l'homme à qui il a été donné, par le Créateur, de pénétrer de plus en plus les secrets de la nature, parviendra un jour, si même il n'y est déjà arrivé, à réaliser des appareils doués d'un mouvement plus uniforme que celui qui anime l'écorce solide du globe autour de son axe instantané de rotation. »

Pendant vingt ans j'ai réfléchi au moyen de constater *physiquement* cette irrégularité du mouvement de l'écorce terrestre, qui démontrerait à elle seule, sans le concours d'aucune observation astronomique, l'existence de la nutation diurne.

J'y ai réussi l'an dernier au moyen d'un appareil fort simple dans lequel n'intervient absolument aucune action autre que celle de la gravité et de l'inertie.

Dès les premières observations, faites dans le courant de septembre, j'ai été pleinement satisfait, et les observations subséquentes ont toutes confirmé le phénomène attendu.

Mais je tenais à répéter l'expérience les 20-21 mars, puisque à cette date les variations de vitesse de l'écorce

terrestre atteignent, comme le 23 septembre, leur maximum.

Or il se trouve que le diagramme qui représente ces dernières observations est presque identique à celui que j'ai obtenu en automne, comme on le constate à l'inspection de la figure ci-jointe, qui reproduit les observations faites le 23 septembre et le 25 octobre 1903, et du 20 au 21 mars 1904 (*) : les heures, en temps officiel, sont comptées sur les lignes des abscisses ; les amplitudes, en millimètres, sur celles des ordonnées, avec un agrandissement de 75 environ.

A partir du zéro arbitraire, qu'on prendra comme point *normal*, jusqu'au sommet supérieur de la courbe III, qui est la plus étendue, il y a 26 millimètres ; jusqu'au sommet inférieur, 25 millimètres.

L'amplitude moyenne est donc de $25^{mm}5$. Divisée par 75, elle sera de $0^{mm}34$.

C'est à très peu près le nombre $0^{mm}4$ trouvé par le calcul, en attribuant au coefficient de la nutation diurne la valeur que j'ai déterminée, $0''\ 0666 = \frac{2''}{30}$.

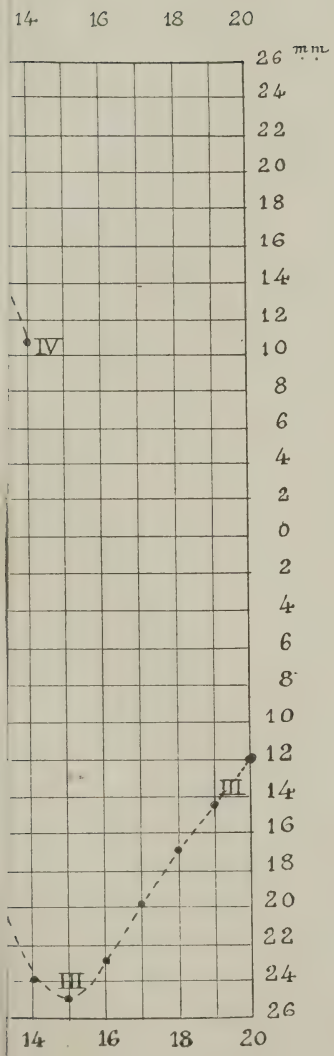
Dans cette courbe III, les intervalles de temps entre les maxima et les minima sont respectivement de huit, de neuf et de sept heures, soit en moyenne de huit heures.

(*) J'ai ajouté celui du 23 au 25 avril, qui concorde avec les autres, et tout particulièrement avec celui du 25 octobre, d'une manière remarquable.

Des circonstances locales obligeaient à ne faire les observations que du samedi au lundi.

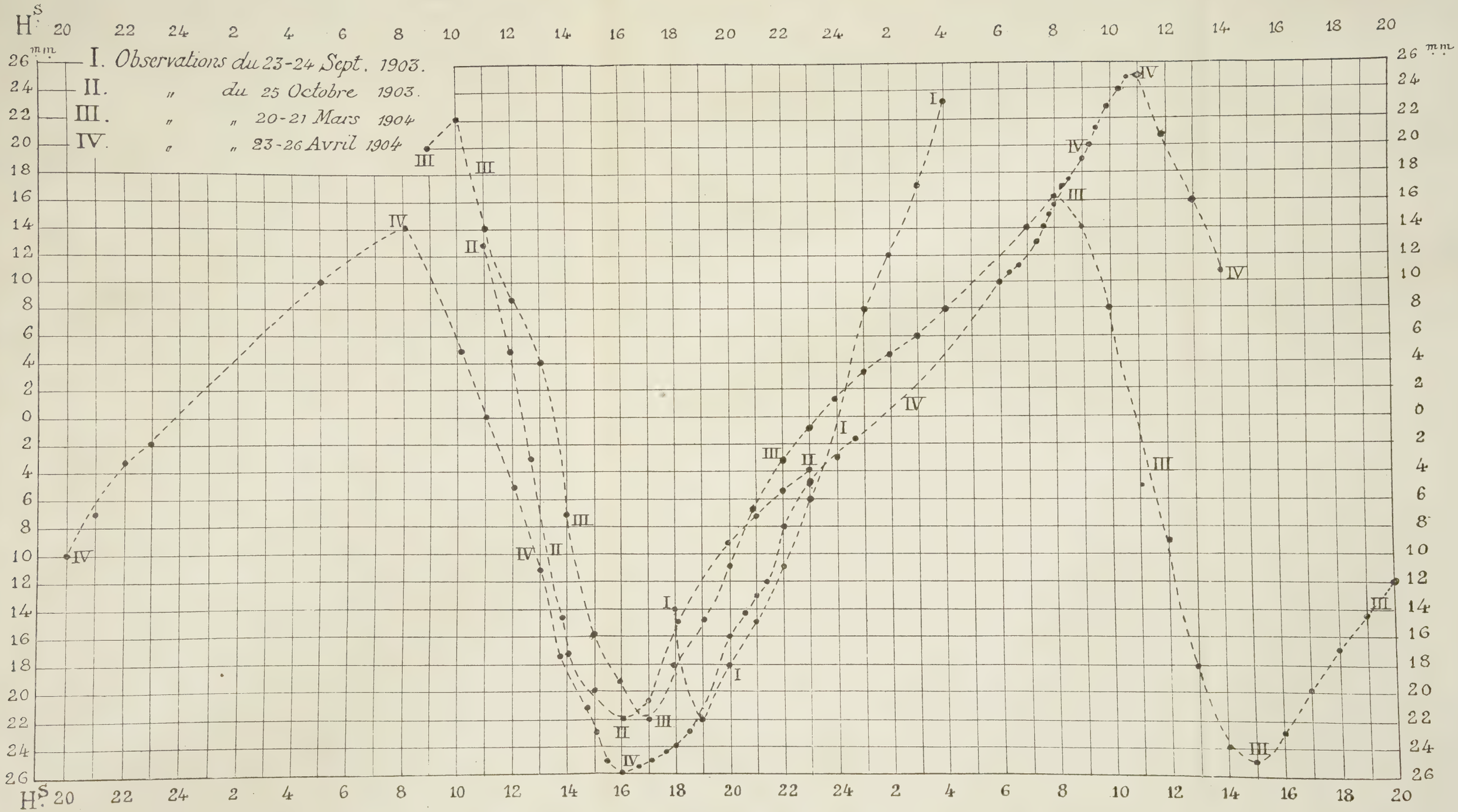
Les dernières observations, celles de mars et d'avril, n'ont nullement été troublées par des mouvements sismiques, comme l'ont été parfois celles de l'automne dernier.

Les points forts représentent les lectures directes ; ils sont réunis entre eux par un pointillé (27 avril).


14
16
18
20
mm
26
24
22
20
18
16
14
12
10
8
6
4
2
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
22
24
26
IV
III
III
14
16
18
20

F. Folie, *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique* (Classe des sciences), nº 4, 1904.

TEMPS CIVIL DE GREENWICH.



Si la cause du phénomène résidait *uniquement* dans l'irrégularité du mouvement de l'écorce terrestre, ces intervalles de temps devraient être de six heures environ.

De plus, au minimum qui se présente à 16 heures le 25 octobre correspond celui de 19 heures du 23 septembre, ce qui ne s'explique pas non plus par la seule libration de l'écorce terrestre, en vertu de laquelle il eût dû survenir vers 17 heures.

On remarquera la conformité d'allure de la courbe I et de celle du 20 au 21 mars 1904, conformité qui devrait être complète, puisque l'argument est 2φ, et que φ a varié de 180° en six mois, tandis que la longitude de la Lune était à peu près la même. Seulement, ici encore, au lieu que le minimum survient dans la première à 19 heures, ce n'est pas à la même heure, mais à 17 heures qu'il se présente dans la seconde, différence inexplicable également par la libration terrestre, à moins que les différences de longitude de la Lune à ces deux dates ne suffissent à en rendre compte, ce que je n'ai pas encore eu le loisir de vérifier. Or l'appareil est resté absolument intact depuis la première observation jusqu'à la dernière. Ce n'est donc pas à une action étrangère que sont dues les discordances d'heures que je viens de signaler, et la régularité des courbes ne permet pas non plus de les attribuer à des erreurs d'observation. L'influence du terme lunaire prépondérant ne peut pas, je pense, avoir modifié à ce point les heures du minimum, la longitude de cet astre ayant été à peu près la même dans les trois observations.

Il existe donc une cause perturbatrice qui vient altérer la régularité absolue de ce phénomène nouveau et insoupçonné.

Je crois bien la connaître; mais des observations

d'une autre nature sont nécessaires pour en établir expérimentalement l'existence.

Il est fâcheux que mes ressources ne me permettent pas de faire construire un appareil au moyen duquel ces phénomènes tout à fait inattendus, et dont l'explication complète est encore à trouver, pourraient être enregistrés d'une manière continue ; mais j'ai lieu d'espérer que cet enregistrement se fera dans divers observatoires étrangers.

Les observations précédentes, toutefois, suffisent pour démontrer *physiquement* l'existence de la nutation diurne, l'irrégularité du mouvement de l'écorce terrestre, et par suite, l'indépendance entre celle-ci et le noyau dans les mouvements à courte période, indépendance que j'ai démontrée dans ma *Théorie du mouvement de l'écorce solide du globe* (1898).

Les conséquences en sont capitales pour l'astronomie sphérique. Je n'en citerai que les plus importantes : l'existence de la nutation diurne et de *deux* nutations initiales, l'eulérienne proprement dite (305 jours) et celle de Chandler (430 jours), y compris son terme annuel (*).

Et le problème auquel les astronomes consacrent depuis seize ans tant d'efforts et d'argent, celui de la variation des latitudes, ne sera pas résolu avant qu'on ait pu tenir compte des deux premiers de ces mouvements (diurne et eulérien), dont la plupart nient encore l'existence.

Avant de terminer, je tiens à remercier cordialement un de mes anciens élèves, M. l'ingénieur A. Rouma, pour le concours dévoué qu'il n'a cessé de m'apporter dans mes recherches sur ce sujet. C'est lui seul qui a construit et installé chez lui l'appareil, avec les faibles moyens

---

(*) Voir *Monthly notices*, 1903.

qu'il avait à sa disposition, lui seul également qui a fait toutes les observations, en y consacrant des veilles écrasantes.

Son nom mérite d'être associé à cette découverte.

—

Sur l'éther méthylique de l'acétol; par Louis Henry, membre de l'Académie.

Dans mon mémoire intitulé : *Observations au sujet de l'action des alcools sur les éthers composés* (*), je me suis occupé de l'action de l'alcool méthylique sur le *formiate acétolique* $H_3C - CO - CH_2 (CHO_2)$. J'ai préconisé cette réaction comme le moyen le plus commode d'obtenir l'*acétol* $H_3C - CO - CH_2 (OH)$, composé dont la préparation par les méthodes ordinaires de saponification est entourée de certaines difficultés.

Mes observations ont été confirmées par M. André Kling (**), de l'École municipale de physique et de chimie de la ville de Paris, lequel s'occupe, avec succès, de recherches sur les *alcools acétoniques*, composés dont l'*acétol* $H_3C - CO - CH_2 (OH)$ est le premier terme et le plus simple représentant.

Je termine la description de cette opération en disant :

« Je tiens à constater qu'il se forme, dans ces condi-
» tions et en des quantités relativement notables, un
» produit solide, cristallin, fusible à 130° et bouillant
» à 196°. Je le regarde comme l'éther simple $H_3C - CO$

(*) *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique* (Classe des sciences), 1902, p. 445.

(**) Voir le *Bulletin de la Société chimique de Paris,* t. XXIX, p. 92 (1903).

» - CH_2 — O — CH_2 - CO - CH_3 de l'*acétol*, produit dans » ces circonstances. »

J'étais en droit de présumer que ce produit accessoire constituait le véritable anhydride de l'*alcool pyruvique* et répondait à la formule (H_3C - CO - CH_2) O.

Dans bien des circonstances, en effet, où se forment des composés *alcooliques* - C(OH), se produisent en même temps leurs anhydrides ou éthers simples.

Il est bien connu que l'action de l'eau sur le chlorure, le bromure et l'iodure d'éthyle en vase clos, sous pression, fournit de l'oxyde d'éthyle (*). Chauffé avec de la potasse alcoolique, le chlorure de benzyle C_6H_5 - CH_2 Cl m'a fourni surtout de l'oxyde (C_6H_5 - CH_2) O.

Des faits du même genre se constatent dans le groupe glycolique. Dans la réaction du chloro-acétate d'éthyle Cl CH_2 - CO (OC_2H_5) sur le glycolate sodique (HO) CH_2 - CO (ONa) dans l'alcool absolu à 140°, il se produit, à côté de beaucoup de glycolate d'éthyle (HO) CH_2 - CO (O C_2H_5), éb. 155°, une quantité notable de diglycolate O - [CH_2 - CO (O C_2H_5)]$_2$, éb. 245° (**). De même, dans les conditions où l'acide mono-chloro-acétique Cl CH_2 - CO (OH) se transforme en acide glycolique (HO) CH_2 - CO (OH), il se forme en même temps de l'*acide diglycolique* O - (CH_2 - CO (OH))$_2$, fus. 148°.

Les propriétés que j'avais reconnues à ce composé concordaient d'ailleurs avec celles des éthers simples et, notamment, avec celles que doit présenter l'*anhydride* de l'alcool pyruvique. J'avais d'abord constaté l'inertie du

---

(*) Voir Frankland, *Jahresbericht für Chemie,* 1856, p. 567; Reynoso, *id.,* 1856, p. 567.

(**) Heintz, *Annalen der Chemie,* t. CXLVII, p. 200.

chlorure d'acétyle sur ce corps cristallin, alors que l'alcool pyruvique lui-même en est si violemment attaqué. Quant à sa *volatilité*, elle établissait, par son point d'ébullition, des rapports harmoniques entre l'*oxyde de propyle primaire* $(H_5C - CH_2 - CH_2)_2 O$ et ses deux dérivés d'ordre *acétonique*, > CO, *mono-* et *bi-oxygéné*.

$H_3C - CH_2 - CH_2 - O - CH_2 - CH_2 - CH_3$	Éb. 91°	> 54°
$H_3C - CO - CH_2 - O - CH_2 - CH_2 - CH_3$ (*)	Éb. 145°	> 41°
$H_3C - CO - CH_2 - O - CH_2 - CO - CH_3$	Éb. 196°	

J'ajouterai encore que, tandis que ce composé cristallin fond à 120°-131°, le *pyruvate acétolique* $H_3C - CO - CO - O - CH_2 - CO - CH_3$ (**) fond à 152°-153°.

Quoi qu'il en soit, l'analyse devait décider en dernier ressort si mes présomptions quant à l'individualité chimique de ce composé étaient fondées ou bien s'il fallait les abandonner. On s'en était occupé dans mon laboratoire, sans aboutir à une solution définitive, du moins pour moi, lorsque cet objet de recherches a été abandonné, M. Kling m'ayant demandé de pouvoir comprendre ce produit dans le cercle de ses recherches sur l'*acétyl-carbinol* $H_3C - CO - CH_2 (OH)$.

(*) Produit de l'hydratation de l'oxyde de propyl-propargyle $H_3C - CH_2 - CH_2 - O - CH_2 - C \equiv CH$ provoquée par le bromure mercurique $HgBr_2$ (méthode de Kutscheroff). Ce composé, que je ne fais que mentionner ici, réduit déjà à froid, quoique moins intensément que les dérivés méthylique et éthylique, la liqueur de Fehling.

(**) Produit de l'action de l'*acide pyruvique* $H_3C - CO - CO(OH)$ sur l'*alcool pyruvique* $H_3C - CO - CH_2(OH)$ correspondant. Rendement peu satisfaisant.

Or, il y a peu de temps, M. Kling m'a rendu compte des résultats de ses études sur ce composé particulier.

Les combustions qu'il en a faites ont fourni, pour le carbone et l'hydrogène, des chiffres qui concordent, non avec ceux qui correspondent au composé hexa-carboné, l'*oxyde acétolique présumé* $(H_3C - CO - CH_2)_2 O$, mais avec ceux qui répondent à l'*acétol méthylique* $H_3C - CO - CH_2 (OCH_3)$.

	Trouvé.	Calculé.
C	54.20 (*)	54.54
H	9.16	9.09

J'ajouterai que les combustions faites dans mon laboratoire coïncidaient avec ces chiffres. Dans l'idée où j'étais quant à la nature de ce produit, je n'avais pas ajouté à ces résultats l'importance qu'ils méritaient. Cet objet a été abandonné par la suite, comme je l'ai déjà dit, sans que l'on y soit revenu depuis lors.

Ce produit ne constitue pas cependant l'*acétol méthylique* proprement dit $H_3C - CO - CH_2 (OCH_3)$.

J'ai obtenu ce corps en 1881, lors de mes recherches sur l'hydratation des composés propargyliques (**).

Comme ce produit est encore inédit, je profiterai de cette occasion pour en donner la description et la préparation.

(*) Produit recristallisé dans le chloroforme bouillant.

L'oxyde *acétolique* $(H_3C - CO - CH_2)O$ renferme °/₀ C — 55.38; H — 7.70.

(**) Voir ma notice dans les *Comptes rendus*, t. XCIII, p. 421 (année 1881).

On mélange l'*oxyde de méthyl-propargyle* $HC \equiv C - CH_2 (OCH_3)$ avec un peu plus que son volume d'eau, et après l'addition d'une certaine quantité de bromure mercurique, on chauffe. La réaction s'accomplit bientôt avec vivacité; il se produit des craquements et la masse se met à bouillir; en même temps, le produit disparaît. La réduction du composé mercuriel est faible. Par la distillation de la masse, on obtient un liquide qui, par l'addition de $K_2 CO_3$, laisse séparer, sous forme d'huile surnageante, un produit que l'on dessèche à l'aide de $Ca Cl_2$ ou $K_2 CO_3$.

Après distillation, l'analyse de ce composé a fourni les résultats suivants :

I. $0^{gr}1474$ de substance ont fourni $0^{gr}2960$ de CO_2 et $0^{gr}1230$ d'eau.
II. $0^{gr}1450$ du même produit ont fourni $0^{gr}2928$ de CO_2 et $0^{gr}1200$ d'eau,

ce qui correspond à la composition centésimale suivante :

	Trouvé. I.	Trouvé. II.	Calculé.
C	54.74	55.03 (*)	54.54
H	9.22	9.17	9.09

L'oxyde de *méthyl-acétol* $H_3C - CO - CH_2 (OCH_3)$ constitue un liquide incolore, mais brunissant, à la longue, à la lumière, d'une saveur amère, sauvage, d'une odeur forte, fraîche, non propargylique, soluble dans l'eau, d'où $K_2 CO_3$ le fait sortir, et dans tous les dissolvants ordinaires.

(*) Ces combustions ont été faites par mon assistant, en ce temps-là M. C. Aschman.

Il bout, sous la pression ordinaire, à 118°. Sa densité de vapeur, déterminée dans l'appareil de Hofmann, a été trouvée égale à 3,00.

Substance	0gr0350
Pression du baromètre	767mm
Hg soulevé	671mm
Tension de la vapeur	91mm
Volume de la vapeur	103cc
Température	100°

La densité de vapeur calculée est 3,04.

Sa densité à l'état liquide, à 20°, est égale à 0,9570 (*).

Ce corps réduit intensément et immédiatement, dès la température ordinaire, la liqueur de Fehling.

(*) L'isomère de l'*acétol méthylique,* le *propionate de méthyle,* a pour densité à 4° 0,9578, et bout sensiblement à 80° (79°5 Kahlbaum; 79°9 à 760 millimètres de pression, Schumann).

H_2C-OCH_3 Éb. 118° — $OC-OCH_3$ Éb. 80°
CO — CH_2
CH_3 — CH_3

Différence 38°.

On voit l'influence puissante qu'exerce sur la volatilité de la molécule totale $C_4H_8O_2$, constituée des deux systèmes C_3H_5O et OCH_3, la position relative des deux atomes d'oxygène,

H_2C-O / CO et $OC-O$ / CH_2

Cette différence est sensiblement du même ordre que celle qui existe entre les dérivés chlorés correspondants

H_2C-Cl Éb. 118° — $OC-Cl$ Éb. 80° (77° - 78°)
CO — CH_2
CH_3 — CH_3

Il s'altère, à la longue, spontanément. L'échantillon que j'en possédais dans ma collection personnelle était devenu brunâtre et n'a plus bouilli intégralement à la température primitivement indiquée.

Quant au composé solide et cristallin obtenu dans la préparation de l'*acétol*, dans les conditions indiquées plus haut, il constitue évidemment un polymère de l'*acétol méthylique* $H_3C = CO - CH_2 (OCH_3)$ proprement dit que je viens de décrire.

Les différences que l'on constate, au point de vue physique, entre ces deux formes d'un même *composé acétolique,* sont de l'ordre de celles que présentent des polymères de telle espèce.

$H_3C - CHO$	Éb. 21° / Fus. -120°7 (*)
$(H_3C - CHO)_3$ Paraldéhyde	Éb. 124° / Fus. 12°
$H_3C - CO - CH_2(OCH_3)$. .	Éb. 118° / Fus. —
$\left(H_3C - CO - CH_2(OCH_3)\right)_n$	Éb. 196°. / Fus. 131°

L'expérience directe a d'ailleurs confirmé mes prévisions. Les déterminations cryoscopiques faites par M. Kling dans la benzine et le bibromure d'éthylène ont fourni, pour poids moléculaire, les nombres 172 et 184. La formule $(C_4H_8O_2)_2$ correspond à 176.

(*) Ladenburg et Kruegel, *Bulletin de la Société chimique de Berlin,* t. XXXII, p. 1821, année 1899.

On sait que l'aptitude à la *polymérisation* est caractéristique des oxydes, du moins des composés renfermant le système >CO, où elle se montre en rapport avec la quantité atomique d'hydrogène fixée sur C, en même temps que l'oxygène. A son maximum d'intensité dans le *méthanal* $H_2C = O$, qui n'existe sous sa forme normale, mono-moléculaire, liquide bouillant à - 23° -, que dans le mélange réfrigérant où sa vapeur s'est condensée, cette faculté d'association existe encore à un haut degré, quoique déjà fortement affaiblie, dans le *méthyl-méthanal* ou l'*aldéhyde ordinaire* $H_3C - CH = O$, mais elle a disparu dans le *diméthyl-méthanal* $\begin{matrix} H_3C \\ H_3C \end{matrix} > CO$ ou l'acétone ordinaire. On ne connaît, en effet, jusqu'ici, aucun composé *polymérisé* se rattachant à l'acétone, car je ne puis pas regarder comme un polymère *acétonique* véritable le *cyanure d'acétyle* $(H_3C - CO - CN)n$ dans sa forme polymoléculaire; l'association tient incontestablement ici au composant - CN, qui détermine cette aptitude à un si haut degré dans la plupart des composés du cyanogène. La circonstance qu'il représente le premier polymère acétonique connu ajoute encore à l'intérêt qu'offre intrinsèquement ce composé cristallin.

Que l'*acétol* $H_3C - CO - CH_2 (OH)$, au moment où il est mis en liberté de son éther formique, par l'alcool méthylique, réagisse sur celui-ci à la façon d'un acide, pour former à son tour un éther, le fait n'a rien d'extraordinaire et paraît même fort naturel, étant donné l'affaiblissement du caractère *alcool* déterminé dans le composant $H_2C - OH$ par le voisinage immédiat du composant *acétone* > CO. L'*acétol* $CH_3 - CO - CH_2 (OH)$ participe

ainsi, dans une certaine mesure, au caractère acide si nettement accusé dans son isomère, l'*acide propionique* $H_3C - CH_2 - CO(OH)$.

Que le dérivé oxy-méthylé $H_3C - CO - CH_2(OCH_3)$ formé dans ces conditions apparaisse à l'état polymérisé, c'est là, sans doute, un fait d'un caractère étrange au premier abord ; il le paraîtra moins, peut-être, si l'on se rappelle que l'*acétone* elle-même $\begin{matrix} H_3C \\ H_3C \end{matrix} > CO$, dans son état naturel, liquide, est constituée, selon des déterminations récentes, de molécules associées, au moins au nombre de *deux*, ou, selon le langage ordinaire, qu'elle est elle-même une sorte de polymère (*).

Il arrive ainsi, en ce qui concerne l'*acétol méthylique*, ce qui est arrivé pour la *méthyl-méthylène-imine* $H_2C = N - CH_3$. J'ai fait connaître cette base en 1895 (**), au cours de mes recherches sur les composés mono-carbonés. Elle est le produit de la déshydratation par la potasse caustique de l'*alcool méthyl - amido - méthylique* $H_2C < \begin{matrix} OH \\ NH(CH_3) \end{matrix}$, produit immédiat de l'action de la méthylamine $H_3C - NH_2$ sur le méthanal $H_2C = O$ aq.

Me fondant sur l'analyse de ce produit et la densité de sa vapeur, déterminée, dans l'appareil de Hofmann, à 185°, je lui avais attribué la formule mono-méthylénique

---

(*) Voir cette question résumée dans VAUBEL, *Lehrbuch der theor. Chemie*, Bd I, p. 351 (1903).

(**) Voir ma notice intitulée : *Sur les dérivés alkylés de l'imine méthylénique* (BULL. DE L'ACAD. ROY. DE BELGIQUE, t. XXIX [3], pp. 23 et suiv.).

$H_2C = N(CH_3)$, quoique je lui eusse trouvé pour point d'ébullition 166° sous la pression ordinaire. Peu de temps après, MM. Brochet et Cambier (*), à la suite de diverses déterminations cryoscopiques, le regardèrent comme un polymère triméthylénique de la formule $(H_2C = N - CH_3)_3$, et ils eurent raison, car un peu plus tard, MM. Düden et Scharff (**) arrivèrent à la même conclusion par une voie chimique; ils constatèrent que le composé formé par cette base avec l'acide picrique, répond à la formule $(H_2C = N - CH_3)_3 - C_6H_2(NO_3)_3 - OH$.

APPENDICE.

Je profiterai de l'occasion présente pour faire connaître quelques dérivés qui se rattachent directement à ceux que concerne cette notice.

A. *Glycide méthylique* $\underset{\smile}{H_2C - CH}_{O} - CH_2(OCH_3)$.

L'*acétol méthylique* $H_3C - CO - H_2C - OCH_3$ est isomère avec le *glycide méthylique* $\underset{\smile}{H_2C - CH}_{O} - CH_2(OCH_3)$.

Celui-ci constitue un liquide incolore, mobile, d'une agréable odeur, soluble dans l'eau. Il bout aussi à 115°-

---

(*) *Comptes rendus*, t. CXX, p. 449 (1895).

(**) *Bulletin de la Société chimique de Berlin*, t. XXVIII, p. 936 (1895).

118°. Sa densité de vapeur a été trouvée égale à 2,99.

Substance	0gr0590
Pression barométrique	767mm
Hg soulevé.	661mm
Tension de la vapeur	106mm
Volume de la vapeur	149cc
Température.	100°

La densité calculée est 3,04.

Ce composé ne réduit pas, ou du moins fort difficilement, la liqueur de Fehling; mais, à l'inverse de l'*acétol méthylique*, son isomère $H_3C - CO - CH_2 (OCH_3)$, il se combine vivement avec les hydracides halogénés pour régénérer un composé glycérique $(CH_3O) CH_2 - CH (OH) - CH_2X$.

Le *glycide méthylique* est le produit de l'action des alcalis libres, en solution concentrée, sur la *chlorhydrine glycérique oxy-méthylique* $(H_3C - O) C_3H_5 - (OH) Cl$.

B. *Chlorhydrine glycérique oxy-méthylique.*

Ce composé, auquel l'analogie permet d'assigner la formule $(H_3C - O) CH_2 - CH Cl - CH_2 (OH)$ (*), résulte lui-même de l'addition de l'acide hypochloreux (HO) Cl à l'oxyde de méthyl-allyle $H_3C_3 - OCH_3$.

Cette opération a été faite en novembre 1881. Voici ce que je trouve dans mon journal d'expériences sur cet objet :

Quarante grammes d'oxyde de méthyl-allyle ont été

(*) Voir mon travail : *Sur les produits de l'addition de l'acide hypochloreux aux composés allyliques* (BULL. DE L'ACAD. ROY. DE BELGIQUE, t. XXXVII, 2e série, p. 357 [année 1874]).

mis en réaction en une seule fois. Fait intéressant à noter, l'alcool allylique qui avait servi à préparer ce composé avait été retiré des eaux mères de la préparation de l'iodure d'allyle par le procédé ordinaire, action du phosphore et de l'iode sur la glycérine.

L'acide hypochloreux (HO) Cl aq provenait de deux cents grammes d'oxyde mercurique.

La combinaison des deux composés en présence, (HO) Cl aq et C_3H_5 - OCH_3, se fait vivement; le tout devient une solution homogène.

Le liquide a été chauffé pendant quelques instants, pour chasser l'oxyde de méthyl-allyle — éb. 46° — peut-être resté comme tel. Rien n'a passé. Après refroidissement, on y a fait passer pendant quelques instants un courant de gaz H_2S, tout à la fois pour détruire les composés hypochloreux et précipiter le mercure dissous. Dès que le précipité, d'abord jaune, commence à noircir, le courant doit être interrompu, sinon il se forme des produits sulfurés. Le produit formé et resté en dissolution a été extrait par l'éther.

Dès la première distillation, il passe presque tout entre 170° et 180°, surtout vers 173°-175°.

Cette opération se fait très régulièrement et dans les conditions les plus avantageuses.

La *chlorhydrine oxy-méthylique* C_3H_5 (OH) Cl (OCH_3) est analogue au composé oxy-éthylique correspondant. C'est un liquide incolore, d'une odeur fraîche, d'une saveur piquante, aisément soluble dans l'eau.

Elle bout, sous la pression de 737 millimètres, à 172°-173°.

—

Quelques mots sur la langue universelle; par G. Dewalque, membre de l'Académie.

Je demande à l'Académie de bien vouloir me permettre de dire à mon tour quelques mots au sujet de la future langue internationale. J'ai fait de l'opposition à des projets accueillis chaleureusement par des confrères estimés : je tiens à m'en expliquer.

Qu'une langue commune à tous les savants soit désirable, cela n'a nul besoin d'être proclamé : personne ne songe à le contester. Je ne désespère pas qu'on arrive à l'obtenir, mais je crains qu'il ne faille attendre, au préalable, que la diplomatie nous ait donné la paix universelle.

Mais nous avons, dit-on, la ressource d'une langue nouvelle. Le volapuk étant mort, nous avons l'espéranto.

Effectivement, quand on cherche à aller au fond, il semble que les fauteurs du grand mouvement d'opinion en faveur d'une langue universelle ont pour but d'arriver à l'espéranto, dont on vante la facilité, la simplicité, etc. Quand je disais qu'elle ne servirait guère qu'aux voyageurs, aux commerçants, on m'a répondu que nous allions voir paraître un journal en espéranto. Ce journal, à mon sens, ne prouvera rien de ce que j'ai contesté. Pour être convaincu, je voudrais voir en espéranto quelques pages du bulletin de l'une ou de l'autre de nos sociétés savantes. Il est évident, à mon sens, que notre

dictionnaire scientifique, qui compte des dizaines de milliers de mots techniques, ne pourra être supprimé que si l'on crée autant de mots dans la langue nouvelle. Alors, adieu la facilité, la simplicité qui ont entraîné tant d'adeptes.

Ce n'est pas tout. Il suffit de parcourir la liste des travaux publiés sur la nouvelle langue pour se convaincre que l'on est en train de préparer des espérantos variés, les uns d'origine germanique, les autres d'origine latine; il ne nous paraît pas téméraire de prévoir que les savants de toutes les nations qui auront à choisir, ne s'entendront pas plus dans l'avenir qu'aujourd'hui.

Quant au latin commercial, préconisé par les Phocéens, il n'est pas né viable.

En attendant, tâchons que nos enfants apprennent les trois grandes langues vivantes, sans oublier le grec et le latin.

Si une solution meilleure est possible, elle ne peut être que le retour à une langue ancienne. On a rappelé tous les mérites du latin : sans les méconnaître, je dois dire que je lui trouve un grand défaut, le manque d'article, et que mes préférences vont au grec, qui sert actuellement à l'enseignement de toutes les branches de nos connaissances. Je n'ignore pas ses défauts, notamment sa prononciation; mais je crois savoir que les savants grecs s'efforcent de revenir au grec classique, et l'espoir de voir leur langue arriver au premier rang ne peut que hâter cette évolution.

—

Sur l'élasticité développée dans les jets d'eau;
par G. Van der Mensbrugghe, membre de l'Académie.

1. En 1897 (*), j'ai étudié l'influence exercée par un champ électrique sur un mince jet d'eau; j'ai tâché de faire voir que l'action combinée de la pesanteur et de la force contractile du liquide développe un accroissement continu de la force élastique de compression; d'après cela, j'ai cru pouvoir attribuer la discontinuité de la veine ascendante à la compression trop forte dans les portions supérieures. J'ai conclu de là que tous les moyens propres à diminuer cette compression doivent retarder ou même empêcher l'éparpillement du jet.

2. La même année (**), je me suis posé la question de savoir si l'air atmosphérique exerce vraiment une influence sur la hauteur d'un mince jet d'eau, ainsi qu'on le croit communément. C'est pourquoi j'ai jugé utile de réaliser un jet d'eau dans de l'air plus ou moins raréfié, bien entendu en soumettant à une même pression non seulement la veine liquide, mais encore le réservoir d'où partait le jet. A ce propos, j'ai pu énoncer les conséquences suivantes :

a. L'air n'exerce pas de résistance sensible sur un mince jet liquide.

(*) *Ann. de la Soc. scientif. de Bruxelles,* t. XXI, 1re partie.
(**) *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique,* 3e série, t. XXXIV, p. 248.

b. Plus la pression de l'air est considérable, plus le liquide de la veine tend à lancer des gouttelettes autour de la surface latérale; comme la compression est la plus forte en haut, c'est dans la partie supérieure que l'éparpillement du liquide est le plus prononcé.

c. Réciproquement, si l'on diminue graduellement la pression de l'air, l'éparpillement du liquide diminue aussi par degrés, du moins à partir d'une pression déterminée; sous une pression suffisamment moindre encore, l'éparpillement latéral cesse tout à fait et le jet est cohérent dans toute sa longueur.

3. En réfléchissant à ces divers résultats, j'ai pensé qu'il était important de réunir toutes les causes susceptibles de modifier l'élasticité d'un jet liquide ascendant, et d'en faire connaître les effets probables.

Et d'abord il est clair que, dans un réservoir contenant du liquide à une certaine hauteur h au-dessus de l'orifice o par où, à un moment donné, on veut faire jaillir le jet ascendant, les pressions dues à l'action combinée de la pression atmosphérique et des poids des couches horizontales successives réparties sur la hauteur h, iront en croissant depuis le niveau jusqu'à la tranche horizontale passant par o. Or à chacune de ces pressions correspond une force élastique qui lui fait équilibre; si donc on ouvre l'orifice, le jet jaillira en vertu de la force élastique appartenant à la tranche horizontale qui passe par l'ouverture.

Pour mieux nous faire une idée des variations de l'élasticité dans les diverses parties d'un jet d'eau, imaginons d'abord un tube contenant une colonne d'eau de même

section que l'orifice circulaire par lequel elle communique avec l'eau du réservoir. Il est évident que la colonne sera en équilibre quand le sommet se trouve au niveau du liquide dans le vase ; la force élastique des diverses sections horizontales sera alors la même que dans les sections correspondantes du réservoir.

Supposons maintenant le tube enlevé, et soit un jet d'eau jaillissant de l'orifice sous l'action d'une pression constante. Quelles seront les causes capables de modifier d'une section à une autre la force élastique du liquide ascendant?

La première de ces causes est l'action de la pesanteur; en effet, soit a la vitesse réelle due à la charge du liquide près de l'orifice; pour un moment, mais seulement pour un moment, la force élastique du liquide éprouve une diminution dès qu'il arrive à l'air libre; car un filet liquide passant par l'orifice pendant le temps extrêmement petit Δt $\left(\frac{1''}{20}\text{ par exemple}\right)$, aurait une longueur

$$a\Delta t - \frac{1}{2}g\overline{\Delta t}^2$$

si le filet était libre; dans les intervalles de temps suivants, les longueurs successives seraient

$$2a\Delta t - \frac{1}{2}g(2\Delta t)^2 - (a\Delta t - \frac{1}{2}g\overline{\Delta t}^2) = a\Delta t - \frac{3}{2}g\overline{\Delta t}^2,$$

$$a\Delta t - \frac{5}{2}g\overline{\Delta t}^2,$$

et ainsi de suite; donc dans chaque intervalle de temps Δt, la longueur théorique diminuerait de $g\overline{\Delta t}^2$, soit de

22 millimètres environ par $\frac{1''}{20}$. Comme il en est de même de tous les filets de la colonne, lesquels tiennent d'abord ensemble en vertu de la cohésion du liquide, tout le liquide distribué sur la longueur initiale devra se répartir sur une longueur allant constamment en décroissant ; il fera donc un effort de plus en plus grand pour augmenter les sections consécutives du jet. En l'absence de toute autre influence, on voit par conséquent que la force élastique de l'eau ira en augmentant, et, si le jet est assez haut, finira par projeter des gouttelettes latéralement en dehors de la masse en mouvement.

4. Mais il y a une autre force qui exerce aussi une influence sur le degré d'élasticité de la colonne ascendante. En effet, chaque portion du jet qui, dans un intervalle de temps Δt s'échappe de l'orifice, acquiert aussitôt une énergie potentielle qu'elle n'avait pas, savoir celle qui est due à la force contractile de la couche superficielle; de là résulte nécessairement une perte de force vive et un retard des tranches liquides voisines de la surface libre; en outre, la tension dont il s'agit exerce contre le contour de chaque section droite de la veine une pression d'autant plus marquée que le diamètre de cette section est plus petit ; c'est ce qui fait naître un obstacle plus ou moins énergique à l'accroissement de surface des sections consécutives. Nous rencontrons donc ici un motif de plus pour que la force élastique de compression finisse par être suffisante pour chasser hors de la veine un nombre naissant de gouttelettes jusqu'au sommet même d'où se détachent constamment de petites masses lancées par la trop forte compression du liquide. Pour chaque goutte

détachée, il se produit dans le filet demeuré adhérent un vif mouvement de retrait qui fait renaître la trop forte compression de l'instant précédent.

Les raisonnements qui précèdent font voir que si la veine est suffisamment mince, l'accroissement de force élastique développé par l'action combinée de la pesanteur et de la tension superficielle deviendra presque instantanément très marqué, et cela bien avant que le liquide ait atteint le haut de sa course; les portions où la compression est devenue trop forte ne pourront demeurer plus longtemps cohérentes; il s'en détachera nécessairement des gouttes plus ou moins nombreuses. On comprend dès lors que le jet est composé d'une partie continue et d'une gerbe de gouttelettes lancées plus haut et dessinant des trajectoires orientées irrégulièrement autour de la veine. On conçoit aussi que dans le vide comme dans l'air, la hauteur effective du jet est toujours inférieure à la hauteur théorique.

5. Si les considérations que je viens de présenter sont exactes, il faudra que tous les moyens propres à diminuer la compression de la veine aient pour effet de retarder ou même d'empêcher l'éparpillement du liquide. Examinons donc successivement l'influence de la pression atmosphérique, de la nature du liquide, d'un champ électrique et enfin d'une boule creuse soutenue par la veine ascendante.

A. Un jet liquide s'élevant à travers l'air est nécessairement soumis à la pression exercée par celui-ci, c'est-à-dire en moyenne à une pression de $10^{gr}33$ par millimètre carré supposé plan. Mais que se passerait-il si la pression

de l'air pouvait être diminuée autour de la veine? Pour le savoir, j'ai, comme je l'ai dit plus haut, réalisé un jet d'eau dans l'air raréfié, en soumettant à une même pression non seulement le jet liquide, mais encore le réservoir. Dans mes expériences de 1897, la hauteur de charge était de 38 centimètres, l'orifice d'écoulement avait 1 millimètre de diamètre, et à l'air libre, le jet avait 27 centimètres de hauteur. Lorsque j'avais réduit la pression de l'air ambiant à 10 centimètres de mercure, la hauteur effective était très sensiblement la même, mais, au lieu de se convertir peu à peu en une gerbe de gouttelettes, le jet demeurait cohérent dans toute sa longueur, se recourbait à son sommet et laissait échapper des gouttes successives.

Comment faut-il interpréter ce double résultat, assurément fort inattendu? Tout me porte à croire que, par la réduction de la pression atmosphérique à moins du septième de sa valeur primitive, la force élastique de compression qui régnait dans toutes les parties de la veine était suffisamment diminuée pour permettre aux différentes sections du jet de s'agrandir de manière à empêcher tout éparpillement latéral.

Quant au maintien de la hauteur effective, il est dû sans doute à ce que, dans ces nouvelles conditions, toute la masse liquide constituant le jet participe au retard causé dans l'ensemble par l'action de la pesanteur.

B. Voyons maintenant si la nature du liquide peut influer sur la hauteur et l'aspect de la veine.

Opérons d'abord avec l'eau pure dont la tension superficielle est égale à 7,5; soit un jet d'eau à fort peu près vertical, ayant une hauteur totale de 40 centimètres et

sortant d'un orifice d'environ 1 millimètre de diamètre, sous la pression de 70 centimètres. J'ai constaté que dans ces conditions, le jet était composé d'une partie continue de 20 centimètres de longueur et d'une partie plus ou moins discontinue. Sur les portions latérales au dessus de la partie continue se produisaient des jets très minces et discontinus; plus haut encore, la veine s'épanouissait en une gerbe de gouttelettes orientées dans tous les sens.

Avec un orifice d'un diamètre inférieur à $0^{mm}4$, le jet d'eau pure est toujours discontinu, et cela à partir d'une petite distance de l'orifice; par exemple, si l'ouverture n'a que $0^{mm}25$ de diamètre, la pression capillaire latérale est de 60 milligrammes par millimètre carré; une pareille pression combinée avec le retard dû à la pesanteur et à la pression atmosphérique, donne lieu à une gerbe de gouttelettes dans le voisinage même de l'orifice.

Actuellement, tâchons de diminuer la tension superficielle de l'eau, par exemple en enduisant d'huile l'orifice de 1 millimètre de diamètre pendant que la veine d'eau pure manifeste les phénomènes d'éparpillement décrits plus haut; à l'instant même, le jet paraît cohérent dans toute son étendue.

D'après Lord Rayleigh (*), de l'eau pure additionnée de quelques gouttes de lait donne des jets qui ne s'éparpillent pas; d'après M. Bidwell, cité par M. Boys (**), il suffit de passer une flamme fumeuse à travers un jet d'eau qui s'éparpille pour le rendre continu. Dans les différents

---

(*) *Further observations upon liquid jets.* (PROCEED. OF THE R. S. OF LONDON, t. XXXIV, p. 130, 1882.)

(**) *Soap-bubbles and the forces which mould them,* p. 100. London, 1900.

cas énoncés ci-dessus, le liquide peut occuper les sections consécutives du jet sans que sa compression atteigne le degré au delà duquel la colonne se divise.

C. Rappelons maintenant l'action si curieuse d'un faible champ électrique sur une veine ascendante très mince : ainsi que je l'ai dit dans mon travail de 1897, si l'on électrise faiblement par influence une veine d'eau très mince, le fluide électrique est très probablement distribué sur une portion de la gaine d'air qui entoure le jet. Or les particules d'air ainsi électrisées se repoussent d'autant plus fortement qu'elles sont moins écartées entre elles; il me paraît rationnel de conclure que cette répulsion doit favoriser l'accroissement de la section transversale du jet, et par suite le maintien de la cohérence du jet. Bien entendu, il faut que l'accroissement de section de la veine soit très faible, car la compression du liquide est elle-même très peu marquée. Aussi, dès qu'on approche trop le corps inducteur, les répulsions électriques provoquent au contraire l'éparpillement du liquide, ainsi que l'ont observé tous les physiciens qui ont répété l'expérience faite par hasard par un constructeur d'Eperies en Hongrie.

Comme je l'ai avancé en 1897, l'explication que j'ai proposée exige que l'électricité ne produise aucun effet si le jet est formé par un liquide mauvais conducteur, ou bien par un liquide bon conducteur mais très dense, tel que le mercure, ou bien encore si l'orifice n'a qu'une fraction très petite de millimètre de diamètre, ou enfin quand le jet a une épaisseur supérieure à 4 millimètres. Or ces restrictions ont été confirmées par l'observation directe.

D. En terminant, je rappellerai une expérience qui me paraît confirmer également mon explication : une boule creuse de 27 millimètres de diamètre et pesant environ 1gr75 demeure soutenue par un jet d'eau sortant d'un orifice de 2 millimètres de diamètre et d'une hauteur moyenne de 40 centimètres; dans ces conditions, la boule exécute des mouvements plus ou moins prononcés de va-et-vient suivant la verticale, et la veine ne donne pas de gerbes liquides latérales au-dessous de la boule. Au contraire, en enlevant celle-ci, on voit apparaître aussitôt les files de gouttelettes autour du jet. J'en ai conclu que le liquide devant s'épanouir sans cesse pour mouiller la surface inférieure de la boule, ne peut acquérir le degré de compression nécessaire pour produire un éparpillement latéral.

—

Rotation d'un courant par lui-même; par P. De Heen, membre de l'Académie.

Nous avons montré qu'en partant de notre hypothèse fondamentale, en vertu de laquelle chaque élément matériel se comporte comme un gyrostat aspirant et foulant, un conducteur parcouru par un courant tend à être entraîné en sens inverse du courant nominal.

Nous avons, de plus, montré qu'il en est réellement ainsi à l'aide d'un conducteur flottant sur du mercure (1). Rappelons encore cette circonstance qu'un conducteur circulaire émettant un tourbillon d'éther capable d'enrouler un rayon cathodique dans le sens du courant, la

(1) *Prodrome de la théorie mécanique de l'électricité,* p. 43.

réaction due à cette émission tendra à déterminer la rotation du conducteur en sens contraire.

Mais nos recherches actuelles nous ont montré que la masse des conducteurs dont nous pouvons disposer est beaucoup trop grande par rapport à la masse d'éther pour pouvoir déterminer un semblable effet, qui ne peut devenir apparent que dans la substance telle que nous l'avons conçue à l'état nébulaire. Quant au succès de l'expérience citée plus haut, il est dû à l'existence de points d'appui permettant la manifestation d'une réaction suffisante.

La rotation que nous avons réalisée est le résultat du déplacement de l'éther gyrostatique à l'intérieur du conducteur, déplacement qui se produit du pôle positif vers le pôle négatif. Cela étant, considérons un tube enroulé en spirale, parcouru par un courant liquide, au même titre que le serait un conducteur enroulé en spirale, parcouru par le courant d'éther gyrostatique.

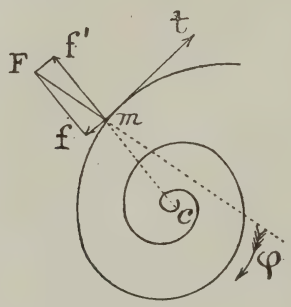


Fig. 1.

Supposons que le fluide parcoure le tube dans le sens de la flèche φ (fig. 1). Une molécule *m* parcourant la

courbe hélicoïdale tendra à s'échapper par la tangente *t*. Et représentons par F la force centrifuge normale à la courbe en ce point. Cette force F pourra se décomposer en deux autres, l'une *f'* suivant la direction qui unit le point *m* au centre de rotation *c*, et l'autre *f* normale à cette direction, et qui aura pour résultat de tendre à déterminer la rotation du système supposé rigide, en sens inverse du sens de l'enroulement de la spirale.

Si nous supposons que le fluide se déplace en sens inverse de la flèche φ, le résultat sera exactement le même.

Nous pouvons donc dire que *le sens de la rotation du système autour du centre* c *sera indépendant du sens du déplacement du fluide et qu'il s'exécutera en sens inverse du sens de l'enroulement de la spirale.*

Afin de réaliser l'expérience à l'aide du courant, nous nous sommes servi d'un fil de cuivre isolé ayant 50 mètres de longueur et 1 millimètre de diamètre. Ce fil, enroulé en forme de spirale, représentait un disque D (fig. 2) de 34 centimètres de diamètre, lequel étant fixé sur une toile métallique présentait une rigidité suffisante. L'extrémité du fil conducteur central *c* plongeait dans un godet *g* renfermant du mercure et auquel aboutissait l'un des pôles; le deuxième bout du fil plongeait dans le mercure de la cuvette annulaire auquel aboutissait le deuxième pôle. Enfin tout le système était suspendu à l'aide de fils de soie et par l'intermédiaire d'une traverse *t* à un fil de soie *f*.

Cela étant, le fil *f* est tordu de manière à communiquer au système mobile un mouvement de rotation dans le sens de l'enroulement du conducteur. Au moment où l'on

introduit le courant dans le circuit, on remarque d'abord l'arrêt du mouvement de rotation, puis un mouvement de rotation s'exécutant en sens inverse du sens de l'enroulement, et cela quel que soit le sens du courant.

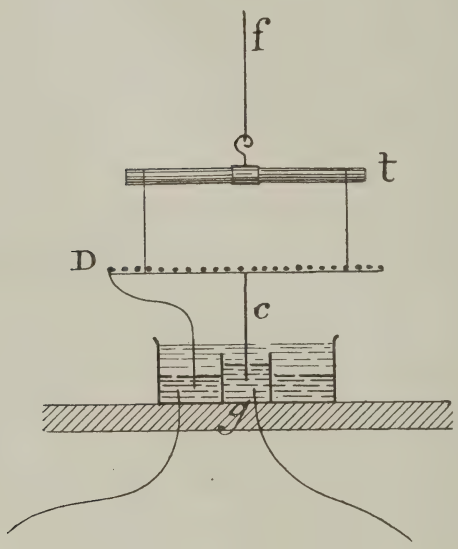


Fig. 2.

Cette expérience s'exécute avec une grande sûreté et comme telle constitue une belle expérience de cours, mais elle nécessite un courant de très grande intensité (15 ampères environ) et l'on ne peut maintenir la rotation pendant un temps trop long, par suite de l'échauffement qui résulte du passage du courant.

—

Recherches sur le développement embryonnaire de l'appendice du premier segment abdominal chez TENEBRIO MOLITOR (communication préliminaire); par Maurice de Selys Longchamps.

J'ai entrepris et poursuivi depuis plusieurs années l'étude du développement embryonnaire de *Tenebrio molitor*. Je n'ai pas l'intention de rendre compte dès à présent de l'ensemble des résultats que j'ai obtenus; je me propose seulement d'exposer les faits se rapportant à une question spéciale, controversée et incomplètement élucidée jusqu'à présent, quoiqu'elle ait fait l'objet de nombreux travaux : le mode de formation, la constitution et la signification des organes que j'appelle, avec plusieurs de mes prédécesseurs, les appendices du premier segment abdominal.

J'ai recueilli moi-même le matériel et j'ai été assez heureux pour obtenir tous les stades du développement embryonnaire jusqu'à l'éclosion de la larve. La meilleure fixation à laquelle je sois arrivé, et qui donne des résultats excellents, a été obtenue par le sublimé acétique chaud. Après lavage à l'alcool iodé, les coques sont légèrement incisées au moyen d'un rasoir, pour permettre la pénétration du réactif et ultérieurement des matières colorantes. C'est le carmin boracique qui m'a paru le meilleur, tant pour l'étude de l'embryon entier vu par transparence que pour celle des coupes. Toutefois, dans les jeunes stades, avant la segmentation et l'apparition des membres, j'ai dû recourir à la coloration des coupes par l'hématoxyline

de Delafield, la coloration en masse ne permettant pas facilement l'orientation de l'embryon. Une double coloration par le carmin boracique et le bleu de Lyon donne pour les stades plus avancés une excellente élection.

En général, j'ai fait des coupes d'embryons qu'au préalable j'avais pu étudier par transparence, ce qui me permet d'établir d'une façon exacte la marche du développement embryonnaire.

Celui-ci comprend une période de *quatorze à quinze jours* depuis la ponte de l'œuf jusqu'à l'éclosion de la larve. L'œuf isolé est déposé sur une surface plane quelconque, où il se fixe par une face aplatie de l'enveloppe ovulaire et adhère fortement. Dès lors nous pouvons distinguer, dans l'œuf qui est allongé, une face supérieure convexe d'avant en arrière et de droite à gauche, une face inférieure, plane, adhérente, un pôle antérieur et un pôle postérieur.

La formation de l'embryon se fait suivant le processus bien connu chez les Coléoptères : descente de la tache embryonnaire dans le vitellus, apparition d'une cavité amniotique close, allongement de l'embryon, dont la partie postérieure se recourbe dans le vitellus. Je ne m'étendrai pas davantage sur ces faits que j'exposerai en détail dans mon travail définitif.

Négligeant pour le moment les premières phases du développement de l'embryon, je commencerai mon exposé par un stade déjà relativement avancé (fig. 1) : celui où l'appendice du premier segment abdominal (ap^1) fait sa première apparition.

Tout d'abord, un mot sur l'orientation de l'embryon par rapport à l'œuf. La tache embryonnaire se forme à la

face supérieure de l'œuf. Sa première apparition se manifeste à l'un des pôles qui répondra plus tard à la partie postérieure de l'embryon. Nous l'appellerons le pôle postérieur de l'œuf, par opposition au pôle antérieur, où se formera ultérieurement la tête de l'embryon. Cette disposition persistera pendant tout le cours du développement embryonnaire avec une légère modification, au moment où l'extrémité postérieure se recourbe dans le vitellus. L'embryon, dont la face ventrale proémine dans la cavité amniotique, repose en quelque sorte sur le vitellus.

CHAPITRE PREMIER.

Stade A (fig. 1 et fig. 6).

C'est au stade représenté figures 1 et 6 que l'appendice du premier segment abdominal vient de faire son apparition. La figure 1 nous représente en coupe sagittale un embryon âgé de *4 jours;* il est caractérisé par la présence des appendices céphaliques, thoraciques et abdominaux et par l'incurvation de l'extrémité postérieure dans le vitellus. Le mésoblaste, déjà bien différencié dans les segments céphaliques, est formé par des saccules cœlomiques (fig. 6, *cav. cœl.*) dans les segments thoraciques et les premiers abdominaux, alors que dans les trois ou quatre derniers abdominaux, il ne présente qu'une simple segmentation transversale. Les appendices céphaliques et thoraciques nous apparaissent comme des diverticules ectodermiques des segments, dans lesquels se prolongent les saccules cœlomiques; il paraît en être

exactement de même pour le premier segment abdominal.

L'épiblaste, qui constitue la couche extérieure de l'embryon, présente des caractères propres dans les diverses régions du corps; dans la partie préantennaire, nous le voyons se transformer en tissu nerveux; dans les appendices, nous constatons une multiplication cellulaire très active contribuant à l'allongement du membre; enfin dans les segments abdominaux, les cellules présentent un aspect particulier.

Examinons de plus près ce qui se passe à l'appendice du premier segment abdominal (fig. 6, *ap*[1]). A son extrémité distale, l'épiblaste, par divisions successives, constitue un amas de cellules qui ne participeront plus à l'allongement de l'appendice; il ne se produira plus en ce point de multiplications cellulaires, le nombre des éléments restera le même, mais leur nature et leur forme changeront.

Tout au contraire, à en juger par le nombre de ses divisions karyokinétiques, on peut conclure que l'épiblaste de la portion proximale du bourgeon contribuera à l'allongement de l'appendice. En d'autres termes, il se produit à la partie distale un disque épiblastique d'épaisseur considérable, tandis que la partie proximale de l'appendice, la seule dans laquelle s'insinue le saccule cœlomique, est délimitée par un tube épithélial beaucoup plus mince.

Ajoutons un mot sur les membranes embryonnaires, qui jouent un rôle important dans mon exposé.

Lors de la ponte, l'œuf présente extérieurement une coque (*cq*) résistante, dont l'origine a été longuement discutée. Soit qu'elle procède des cellules constituant la

paroi ovarienne, soit qu'elle soit formée par la cellule-œuf, le fait est qu'elle existe lors de la ponte avant la formation du blastoderme. C'est cette enveloppe ovulaire qu'on appelle le chorion (*ch.*).

Les cellules blastodermiques tapissent intérieurement cette membrane. Après la formation de la tache embryonnaire et la fermeture de la cavité amniotique, ce qui reste de l'ancien blastoderme se réduit à une couche de cellules épithéliales plates, partout appliquée contre la couche profonde du chorion; c'est elle que l'on a appelée la séreuse (*ser.*). On s'est souvent demandé de quelle utilité pouvait être cette enveloppe, qui n'intervient qu'en partie seulement dans la formation de l'embryon, et ce, à un stade très reculé du développement, pour constituer l'organe dorsal (*org. dors.*).

Le chorion s'oppose au passage des réactifs, et cependant sa flexibilité est telle qu'il n'est guère possible d'en obtenir une bonne fixation sans une quantité de plissements. Son épaisseur est tellement minime que c'est à peine si on peut le distinguer, même avec un fort grossissement; il n'apparaît que grâce à sa réfringence.

Cette faible épaisseur de la coque persiste jusqu'au troisième jour, moment où la cavité amniotique se ferme, ce qui justifie dès lors la distinction en amnios et séreuse. Cette séreuse agit dès maintenant; ses cellules sécrèteront une substance chitineuse qui, disposée en couches régulières contre la coque, formera à cette dernière un soutien dur et résistant. Par la sécrétion de la séreuse qui continue à se faire aux stades ultérieurs, cette enveloppe chitineuse augmentera en épaisseur, ce dont on peut se rendre compte en comparant un embryon de

quatre jours (fig. 6) avec un embryon de douze jours (fig. 9); la proportion est du simple au double.

Il est donc essentiel de distinguer ici la première enveloppe extérieure ou chorion, qui existe avant la formation du blastoderme et qui n'est pas une formation embryonnaire, d'avec la seconde qui est une sécrétion d'une membrane embryonnaire : la séreuse. Leur valeur morphologique est toute différente, quoiqu'il soit fort difficile, à l'examen des coupes, de les reconnaître comme distinctes.

La séreuse forme donc un sac complet renfermant le vitellus (*vi.*), l'embryon et le sac amniotique. L'amnios, qui s'était séparé de la séreuse, délimite, avec la face ventrale de l'embryon, la cavité amniotique. Cette dernière, par l'allongement de l'embryon, a été entraînée vers la face plane ou de fixation de l'œuf. Nous constatons que dans l'espace laissé libre par la séparation de l'amnios et de la séreuse, il s'est engagé une certaine quantité de vitellus. Toutefois, à l'extrémité antérieure, l'amnios commence à s'accoler à la séreuse.

Stade B (fig. 2 et fig. 7).

L'embryon, après s'être étendu en longueur, gagne en largeur, ce qui le ramène à ses proportions primitives; il repose sur le vitellus et est toujours entouré par la cavité amniotique; celle-ci tend à s'étendre davantage à l'extrémité postérieure vers la face ventrale de l'œuf. Le vitellus, que nous avons vu s'engager entre les deux membranes, s'est presque totalement retiré dans la masse principale. L'amnios s'est rapproché de plus en plus de la séreuse, et les quelques petits amas de vitellus qui

restent encore tiennent en certains points les deux membranes écartées ; d'autres nous montrent au contraire une soudure complète.

La séreuse a subi une légère modification dans son aspect cellulaire : elle est devenue plus mince dans la partie supérieure de l'œuf, alors qu'au pôle antérieur, elle s'est sensiblement épaissie (fig. 2, *sr.*, *org. dors.*).

Les appendices se sont profondément modifiés à ce stade. Les céphaliques se sont différenciés en antennes (*at.*), mandibules (*md.*), premières maxilles (mx^1), deuxièmes maxilles (mx^2). Les pattes thoraciques ($p^1p^2p^3$) se sont nettement caractérisées et présentent déjà une segmentation bien accentuée ; on peut aisément y distinguer trois articles, ébauches du *fémur*, du *tibia* et du *tarse*.

La cavité cœlomique n'existe plus comme telle, le mésoblaste s'étant transformé en tissu musculaire (*musc.*) et mésenchymatique (*mes.*) ; constatons encore la présence d'un diverticule ectodermique, ébauche d'une trachée (*tr.*).

Les modifications de l'appendice du premier segment abdominal nous intéressent davantage. La distinction en partie distale et proximale est maintenant bien apparente. Tout comme dans les pattes thoraciques, la cavité cœlomique a disparu et s'est transformée en espaces lacunaires : le tissu mésenchymatique (*mes.*) a remplacé le mésoblaste primitif, mais nous constatons encore des amas de cellules plus colorées dont l'aspect rappelle celui d'éléments musculaires (*musc.*) en voie de formation. Enfin un tronc trachéen (*tr.*) pénètre dans l'appendice. Son point de naissance et son trajet sont les mêmes que dans les appendices thoraciques. L'invagination ectodermique qui constitue ce tronc trachéen est la première ébauche du stigmate avec sa trachée.

La portion distale de l'appendice s'est profondément modifiée; les cellules ectodermiques ont considérablement augmenté de volume, leur forme a changé; elles se sont accrues en longueur; leur noyau, de périphérique qu'il était, est venu occuper la partie profonde de la cellule, est devenu plus pâle et plus volumineux; une apparence fibrillaire se manifeste dans le protoplasme.

Ajoutons que la partie proximale présente en son milieu un étranglement circulaire.

Stade C (fig. 3 et fig. 8).

L'embryon, beaucoup plus avancé dans son développement, s'est étendu à droite et à gauche sur le vitellus; par le fait de sa croissance en épaisseur, il s'est rapproché des membranes embryonnaires.

L'appendice du premier segment abdominal a subi des transformations importantes. Nous avons vu dans le stade précédent que sa partie distale était constituée d'un amas de cellules très longues, à noyaux volumineux et protoplasme d'aspect fibrillaire. Il en est de même ici, mais l'aspect général de l'organe s'est modifié par suite du changement de forme des cellules; leur partie proximale renfermant le noyau est devenue plus volumineuse, donnant ainsi aux cellules une forme triangulaire à sommet dirigé vers l'extérieur; il en est résulté un élargissement de la partie profonde de l'organe. La surface externe, de convexe qu'elle était dans le stade précédent, est devenue concave.

Remarquons que la structure fibrillaire est devenue plus apparente; nous voyons des cônes fibrillaires plus foncés dont la pointe est dirigée vers l'extérieur, séparés

entre eux par des cônes plus clairs à base externe et à sommet interne. Une mince cuticule réfringente tapisse la cavité de la cupule.

Ajoutons encore que, latéralement et supérieurement, nous voyons à la surface de l'organe un certain nombre de petits noyaux foncés. Ces noyaux appartiennent à des cellules ectodermiques, qui primitivement formaient les parois latérales de l'appendice du premier segment abdominal. Lors du développement excessif des cellules de l'extrémité distale de l'appendice, ces cellules ont été comprimées et aplaties; les cellules glandulaires prenant la forme triangulaire ont amené une invagination de la portion terminale de l'appendice, et nous voyons les cellules ectodermiques, qui primitivement formaient la paroi latérale, recouvrir complètement la masse des cellules glandulaires et délimiter l'ouverture de la cavité de la cupule.

Quelles sont les modifications subies par les membranes embryonnaires? La séreuse s'est, en certains points, détachée de la coque; nous trouvons là, entre les deux enveloppes, un produit granuleux sans structure, sécrété probablement par la séreuse et qui contribue, je pense, à son décollement. La séreuse située au-dessus des premiers segments abdominaux reste encore adhérente à la coque. L'amnios s'est presque totalement accolé à la séreuse et l'adhérence est telle, qu'en certains points on peut à peine distinguer les deux membranes l'une de l'autre, si ce n'est par la présence des noyaux dont l'aspect est différent.

En examinant de près la séreuse, on constate un certain nombre de vacuoles dans le protoplasme de ses cellules et que les noyaux deviennent plus irréguliers. Tout, en

somme, tend à faire supposer un commencement de dégénérescence; le fait du décollement de la membrane parle également en faveur de cette idée.

C'est à partir de ce stade qu'il est intéressant de constater les rapports existant entre l'appendice du premier segment abdominal et les membranes embryonnaires. Comme nous l'avons vu plus haut, tout l'embryon s'est rapproché de la partie supérieure de l'œuf, et nous constatons maintenant une adhérence de l'appendice abdominal avec les membranes embryonnaires. Il y est intimement appliqué.

En même temps, nous remarquons une altération des membranes.

L'amnios a disparu en ce point et nous trouvons le produit de sa dégénérescence dans la cavité de la cupule de l'organe qui nous intéresse. La séreuse également a subi l'influence de la présence de l'appendice : elle s'est amincie et ne présente plus de noyaux à ce niveau.

La constitution histologique de la partie proximale de l'organe n'a pas changé; notons encore pour mémoire la trachée qui se dirige de plus en plus vers la portion distale.

Stade D (fig. 5 et fig. 9).

Passons maintenant à un stade beaucoup plus avancé, où l'embryon tend à prendre sa forme définitive. L'enveloppement du vitellus par les faces latérales de l'embryon est déjà atteint aux trois quarts. L'apparition de l'organe dorsal (fig. 5, *org. dors.*) complète la fermeture provisoire du dos de l'embryon. Nous avons vu dans les deux stades précédents l'épaississement de la séreuse au pôle anté-

rieur de l'œuf et dans le dernier, le décollement partiel de la membrane. Celui-ci se propage sur toute l'étendue de la séreuse. Les deux membranes en contact se sont soudées et sont entrées en dégénérescence sur toute cette étendue (fig. 3, *a. a'.*). L'amnios est donc réduit ici à une très petite étendue, et le reste de la séreuse formera l'organe dorsal, dont la première ébauche se trouve dans cet épaississement au pôle antérieur de l'œuf (fig. 2, *ser.*, *org. dors.*).

Quant à l'appendice du premier segment abdominal, le pédicule relativement long qui rattachait sa cupule à l'embryon tend à se raccourcir, de sorte que tout l'appendice se retire sous la surface du corps; il maintient toujours son adhérence à l'enveloppe de l'œuf, mais par suite de la dégénérescence des membranes embryonnaires, il ne se trouve plus en contact qu'avec la coque de l'œuf.

Si nous examinons un embryon plus âgé encore (fig. 9), c'est-à-dire après la fermeture complète du dos, nous voyons l'appendice du premier segment abdominal complètement rentré sous la surface extérieure du corps. Dès maintenant, le terme appendice ne peut plus être employé dans son sens propre, et nous ne pouvons plus distinguer de portions distale et proximale. L'adhérence est encore telle à ce stade, que dans la majorité des cas, nous trouvons la coque plissée et entraînée dans la cavité externe de l'organe.

Les cellules délimitant cette cavité ont changé d'aspect. Les limites cellulaires sont plus visibles, l'apparence fibrillaire du protoplasme tend à disparaître et est remplacée par une granulation surtout intense dans la partie profonde des cellules. Les noyaux sont plus volumineux, plus pâles et ne renferment plus guère que quelques nucléoles irréguliers et périphériques.

Il est une particularité intéressante à signaler ici : les quelques cellules ectodermiques que, dans le stade C, (fig. 3 et 8) nous avons vues délimiter l'ouverture de la cavité de la cupule de l'organe, ont pris ici un plus grand développement. La partie externe de ces cellules est plus foncée, paraît même présenter une cuticularisation. Sur une double rangée superposée, elles forment comme une dent circulaire (fig. 9, *d. cut.*), qui est intimement appliquée à la coque ; je signalerai même que dans certains cas où, accidentellement, l'organe a été détaché, on retrouve l'empreinte de cette espèce de dent. (Figure ci-dessous.)

Une série de muscles à direction longitudinale (fig. 9, *musc.*) compriment la face interne de l'organe. Une trachée les accompagne. Je constate d'une façon constante au-dessus de ces muscles longitudinaux, un groupe de trois ou quatre noyaux de cellules volumineux et pâles, qui par leur aspect rappellent beaucoup les cellules nerveuses (fig. 9, *sn?*). Indépendamment de ces muscles longitudinaux, nous trouvons des muscles latéraux à direction transversale, qui d'une part sont fixés aux cellules ectodermiques avoisinant le bord de l'ouverture

de la cavité et de l'autre, à des cellules ectodermiques situées un peu plus haut.

Cette disposition persiste pendant les derniers jours de la vie embryonnaire. Au moment de l'éclosion, l'organe s'est détaché de la coque. Les grandes cellules s'aplatissent de plus en plus; la cavité externe disparaît par là même et finalement, par progression des cellules épidermiques, l'organe est complètement recouvert par l'épiderme. Plus tard, les grosses cellules entrent en dégénérescence et, finalement, on ne trouve plus trace de cet organe si intéressant.

Je crois utile de résumer en quelques mots l'évolution de l'appendice du premier segment abdominal ; nous pouvons la subdiviser en six périodes bien distinctes :

1° Première apparition : diverticule ectodermique avec saccule cœlomique ; multiplication cellulaire à l'extrémité distale. Amnios séparé de la séreuse par du vitellus.

2° Distinction en une portion proximale et une portion distale composée de cellules allongées, à gros noyau et protoplasme fibrillaire; mésoblaste transformé en tissu mésenchymatique et amas cellulaires peut-être musculaires; apparition d'une trachée; amnios en partie accolé à la séreuse ; épaississement de la séreuse au pôle antérieur.

3° Portion distale invaginée appliquée contre les membranes ; amnios résorbé ; séreuse en dégénérescence ; apparition des cônes fibrillaires; décollement de la séreuse ; soudure des deux membranes embryonnaires.

4° Dégénérescence complète des deux membranes soudées; formation de l'organe dorsal aux dépens d'une partie de la séreuse; fixation de l'appendice du premier segment abdominal à la coque; raccourcissement du pédicule ou portion proximale.

5° Disparition complète de la portion proximale ; retrait de la portion distale sous l'épiderme; modifications histologiques ; fixation à la coque au moyen d'un anneau épithélial cuticularisé ; englobement complet du vitellus par les faces latérales de l'embryon.

6° Éclosion de la larve ; l'organe recouvert par l'épiderme entre en dégénérescence et ne laisse plus de trace.

CHAPITRE II.

Je ne puis, dans une communication préliminaire, m'attarder longtemps sur les travaux relatifs à l'appendice du premier segment abdominal. La bibliographie a du reste été faite en détail par Wheeler et Carrière, et rectifiée consciencieusement par Graber.

C'est de 1884 à 1891 que l'on s'est le plus occupé de cette question. Les auteurs ont donné une série de dénominations à cet organe, suivant qu'ils envisageaient la valeur physiologique, morphologique ou phylogénétique. Les voici dans leur ordre chronologique :

1° *Appendice du premier segment abdominal* ou *premier appendice abdominal. Branchie hypothétique* (« *muthmassliche Kieme* »). — Rathke (24), 1844.

2° *Quatrième paire de pattes.* — Kowalewsky (17), 1871.

3° *Appendices rudimentaires.* — Ayers (1), 1884.

4° *Glande abdominale.* — Carrière (2), 1891.

5° *Pleuropodium.* — Wheeler (28); propose *adenopodium*, 1890.

6° *Soi-disant pattes abdominales rudimentaires.* — Carrière (2), 1891.

7° *Appendices hypogastriques : prosthypogastriques et opisthohypogastriques.* — Graber (11), 1891.

Il est tout d'abord utile de distinguer les auteurs qui se sont uniquement bornés à faire des observations de fait d'avec ceux qui, en outre, se sont lancés dans les hypothèses et les interprétations. Ceux-ci nous intéressent davantage.

Je laisserai de côté la première catégorie, pour la connaissance de laquelle il suffit de jeter un coup d'œil sur le tableau de Wheeler (28), corrigé et augmenté par Carrière (2), et sur celui de Graber (11).

La seconde catégorie renferme les auteurs qui ont cherché à éclaircir le rôle et la fonction de cet organe. Quelques-uns d'entre eux, tels que Nusbaum, Wheeler, Carrière et Graber, ont abordé les questions phylogénétiques et tenté d'établir un trait d'union entre les Insectes et les Myriapodes. Nous pouvons grouper tous ces auteurs en trois catégories d'après le rôle et la fonction probables qu'ils attribuaient à l'appendice du premier segment abdominal.

FONCTION RESPIRATOIRE.	FONCTION SENSORIELLE.	FONCTION GLANDULAIRE.
Rathke (24), 1844.	Patten (23), 1884.	Patten (23), 1884.
Ayers (1), 1884.	Cholodkowsky (4), 1889.	Wheeler (25), 1889.
Graber (6), 1888.		Wheeler (26), 1889.
		Graber (8), 1889.
		Nusbaum (22), 1889.
		Wheeler (28), 1890.
		Carrière (2), 1891.

Les arguments apportés en faveur de ces différentes opinions, tout comme leur réfutation, ont longuement été exposés, et cela très clairement, par Wheeler (28), dans la troisième partie de son travail.

La première hypothèse émise, d'après laquelle l'organe aurait une fonction respiratoire, fut celle de Rathke (24; 1844), justifiée par le fait qu'il avait trouvé l'organe accolé à l'enveloppe de l'œuf. Je reviendrai plus tard en détail sur son intéressant travail. Ayers (1; 1884) et Graber (6; 1888) penchèrent également en faveur de cette hypothèse, mais plus tard Graber, changeant d'avis à la suite de ses recherches plus complètes (8), appuya l'idée d'une fonction glandulaire. Finalement, dans son dernier travail (11), Graber met la discussion sur un terrain nouveau. Ce ne sont plus, d'après lui, des glandes, mais des appendices, et il appuie son opinion par une série d'arguments qu'il oppose à Wheeler et à Carrière.

Les voici succinctement résumés :

1° Ces organes apparaissent comme des appendices et non comme des glandes. Wheeler les appelle lui-même *pleuropodia* et *adenepodia* et Carrière *pattes abdominales;*

2° Ces organes conservent dans beaucoup de cas le caractère d'appendices;

3° L'idée de Carrière, qui se borne à considérer l'état le plus développé de l'organe, est en opposition avec toutes les théories morphologiques. On ne doit pas se baser sur l'état adulte, mais sur le mode de développement;

4° La présence d'une segmentation (*Mantis*);

5° Beaucoup d'appendices des segments abdominaux postérieurs passent comme appendices locomoteurs dans la larve;

6° Exemple de l'appendice prosthypogastrique de *Campodea* à deux segments et pourvu de muscles. Il y a une partie glandulaire, mais ce n'est pas une raison pour considérer l'organe entier comme glandulaire;

7° Il existe des diverticules de la cavité cœlomique (Ayers chez *Oecanthus*, Cholodkowsky et Wheeler chez *Blatta*, Graber chez *Mantis*).

Je ne m'étendrai pas sur l'hypothèse d'un organe de sens. Patten (23), en 1884, fut le premier à suggérer cette idée sans toutefois la préconiser d'une façon absolue, et Cholodkowsky (4), en 1889, se contentant de comparer les cellules polygonales à des facettes, établit une analogie avec un organe de sens, sans toutefois lui attribuer de fonction spéciale.

Avant d'exposer ma manière de voir et les conclusions résultant de mes observations personnelles, il me paraît utile de faire remarquer que dans les discussions relatives à l'appendice du premier segment abdominal, la base des arguments pour et contre doit reposer sur un même terrain. Nous devons établir une différence bien nette entre le rôle actuel, la valeur morphologique et la valeur phylogénétique.

Pour le rôle actuel, nous ne devons envisager que les faits uniquement : constitution de l'organe à son complet développement, ses rapports avec le reste de l'embryon. Pour la valeur morphologique, le mode de développement nous permettra d'établir des homologies avec les autres membres de l'embryon, et la comparaison du mode de développement d'un type avec ceux de ses voisins et des autres Arthropodes nous fournira des données au sujet de la valeur phylogénétique de l'organe.

Me basant sur les faits énoncés plus haut, relatifs au développement de l'appendice du premier segment abdominal, concurremment avec celui des membranes embryonnaires, je crois pouvoir affirmer dès à présent qu'il y a corrélation dans ces deux ordres de faits. L'appendice du premier segment abdominal, à mon avis, joue un rôle important lors de la rupture des membranes et de la fermeture du dos.

Si on s'en rapporte aux différents stades que j'ai séparés plus haut, on voit qu'à un moment donné, précisément à celui où l'appendice a atteint son maximum de développement (fig. 8), ce dernier est intimement uni aux membranes et à la coque. L'existence d'éléments glandulaires à l'extrémité de l'appendice n'est certes pas discutable à ce stade, et je pense que c'est à ce moment que cet épithélium glandulaire joue un rôle physiologique qui amène la destruction en ce point de l'amnios d'abord, de la séreuse ensuite. L'accolement à la coque s'explique dès lors facilement, et nous devons admettre un changement de fonction de l'organe glandulaire de l'appendice. Cette forme concave que prend sa partie supérieure paraît résulter d'une sorte de succion amenée par le retrait de la portion médiane. L'organe fixe l'embryon à la partie supérieure de la coque.

Quel rôle physiologique devons-nous attribuer à ce singulier organe?

De quelle utilité peut-il être pour l'embryon?

Nous avons vu plus haut les différentes appréciations des auteurs, et pour cette partie j'ai renvoyé aux travaux de Wheeler, Carrière et Graber. La nature glandulaire reconnue par beaucoup d'auteurs n'est certes pas discu-

table, seulement il ne faut pas considérer tout l'appendice comme une glande démesurément développée ; nous devons distinguer des portions proximale et distale; c'est cette dernière qui, à un moment donné du développement, aura son épithélium transformé en épithélium glandulaire et agira chimiquement sur les membranes.

Cette action aura pour résultat d'amener une soudure intime des deux membranes en ce point et la formation d'une cicatrice, qui sera le point de départ de la rupture des membranes embryonnaires.

Je reviendrai en détail dans une prochaine communication, ayant pour objet l'étude de l'organe dorsal, sur ces deux points essentiels qui nous permettent d'interpréter cette fameuse rupture des membranes qui jusqu'à présent n'a guère été expliquée.

Un fait intéressant à ajouter, c'est que dans les groupes d'Insectes où l'on trouve un appendice bien développé au premier segment abdominal, on a toujours affaire à un embryon entouré de membranes embryonnaires devant, après soudure préalable, se rompre pour le laisser sortir.

Les groupes chez lesquels ces phénomènes ne se produisent pas, ou ont subi des modifications importantes, ne possèdent pas ces appendices, ou bien les ont à un degré de développement rudimentaire.

Orthoptères	GRILLIDAE	*Oecanthus niveus*
	— —	*Gryllotalpa vulgaris*
	LOCUSTIDAE	*Xiphidium ensiferum*
	ACRIDIIDAE	*Stenobothrus*
	MANTIDAE	*Mantis religiosa*
	— —	— *carolina*
	BLATTIDAE	*Blatta germanica*
	— —	*Periplaneta orientalis*
Hémiptères	APHIDIDAE	*Aphis pelargonii*
	CICADIDAE	*Cicada septemdecim*
	BELASTOMATIDAE	*Zaitha fluminea*
Coléoptères	HYDROPHILIDAE	*Hydrophilus piceus*
	— —	— *caraboides*
	DYTISCIDAE	*Acilius*
	SCARABAEIDAE	*Melolontha vulgaris*
	MELOÏDAE	*Meloe proscarabaeus*
	TENEBRIONIDAE	*Tenebrio molitor*
	CHRYSOMELIDAE	*Lina tremulae*
	— —	*Clythra laviuscula*
	— —	*Doryphora decemlineata*
Neuroptères	SIALIDAE	*Sialis infumata*
Trichoptères	PHRYGANIDAE	*Neophylax concinnus*
Lépidoptères	BOMBYCIDAE	
Diptères	CHIRONOMIDAE	
	TABANIDAE	
	MUSCIDAE	
Hyménoptères	APIDAE	

Résumé du tableau de Carrière (2) avec certaines ajoutes quant à la rupture des

Glandes abdominales . . . . . — — — — — — —	Déchirure des membranes embryonnaires par accolement. Formation d'un organe dorsal.
Pas de glandes abdominales . . Rudiments sans ouverture . . . —	Déchirure de la séreuse céphalique (Aphides). Formation d'un organe dorsal.
Glandes abdominales développées. — Glandes sans ouvertures . . . . Poches . . . . . . Glandes abdominales développées. —	Rupture des deux membranes (amnios et séreuse) et accolement. Formation d'un organe dorsal.
Pas de glandes abdominales . . — —	La séreuse se détache de l'amnios, qui seul se rompt, pour se replier à la face dorsale et constituer un organe dorsal amniotique. La dégénérescence du soi-disant organe dorsal amniotique est faite avant l'incorporation dans le vitellus.
Glandes abdominales	
Glandes abdominales	Rupture des membranes accolées. Formation d'un organe dorsal.
Pas de glandes abdominales . .	Formation d'un hile et d'un double sac amnio-sérosique jusqu'à l'éclosion. Pas d'organe dorsal.
Pas de glandes abdominales . . — —	Formation d'un double sac amnio-sérosique. Rupture de la séreuse seule pour constituer un organe dorsal (Chironomus).
Pas de glandes abdominales . .	Formation d'un double sac amnio-sérosique persistant jusqu'à l'éclosion. Pas d'organe dorsal.

membranes et la formation de l'organe dorsal.

Il serait utile de contrôler plus exactement la marche du développement de l'appendice et des membranes dans les différents groupes d'Insectes. Je suis convaincu, pour ma part, que cet appendice joue un rôle prépondérant dans la rupture des membranes. Dans le cas qui nous intéresse, le fait me paraît évident.

Une raison de plus qui me fait admettre cette manière de voir, c'est que dans toutes les descriptions d'auteurs de travaux relatifs aux groupes d'Insectes les plus divers, le maximum de développement de l'appendice est atteint au moment de la rupture des membranes. Dès lors, il entre en dégénérescence, et à l'éclosion on n'en trouve plus trace. J'ai constaté le même fait d'une façon absolue.

Après la rupture des membranes et l'entrée en dégénérescence de celles-ci, là ne se borne pas le rôle de ces organes intéressants.

Il est admis d'une façon générale que, dans le groupe des Coléoptères, après leur rupture, les membranes accolées se retirent vers la face dorsale de l'embryon pour y constituer l'organe dorsal et la fermeture provisoire du dos. Ce fait a été tout bonnement constaté, mais jamais expliqué d'une façon définitive. Du reste, comment interpréter la marche de ces membranes accolées de la partie ventrale et supérieure de l'embryon à la face dorsale et inférieure?

Voici, je pense, ce qui se passe et ce qui nous permettrait d'envisager la question plus clairement qu'auparavant.

Nous avons dit plus haut que les membranes après leur soudure amenée par l'action chimique de la portion glandulaire de l'appendice, entraient en dégéné-

rescence jusqu'au point où le vitellus les tenait écartées (fig. 3, *a*, *a'*). Là, il n'y a pas de doute, s'arrête la dégénérescence, et nous voyons l'amnios se continuer intimement dans la séreuse.

Au début de notre exposé, nous avons vu qu'au pôle antérieur, la séreuse décollée de la coque présentait une certaine épaisseur (fig. 2, *ser.*, *org. dors.*) ; c'est là l'origine de l'organe dorsal, qui ne provient donc pas du résidu de la séreuse ramenée de la face ventrale de l'embryon. Je ne m'étendrai pas davantage sur la formation de l'organe dorsal, cet exposé devant être fait plus longuement dans mon travail définitif.

Nous avons donc à ce stade du développement une masse de vitellus limitée par un sac clos formé dorsalement par la lame embryonnaire, latéralement par le reste de l'amnios et ventralement par la séreuse avec, à sa partie antérieure, l'organe dorsal dans son ébauche primitive.

L'embryon, pour progresser, a besoin de nourriture, qu'il cherche dans la masse de vitellus. Il est donc évident que cette dernière diminue au fur et à mesure que l'embryon grandit, et nous voyons bientôt l'embryon et sa masse de vitellus ne plus occuper tout l'espace renfermé dans la coque. La séreuse, comme nous l'avons vu plus haut, s'étant détachée de la coque, il ne reste plus aucune attache pour l'embryon. Il pourrait donc se mouvoir librement dans sa coque. Tant que le vitellus existe en quantité suffisante, la face ventrale de l'embryon restera toujours à la partie supérieure, la densité du vitellus étant plus grande que celle de l'embryon. Une fois l'équilibre établi, l'embryon pourrait changer d'orien-

tation, ce qui pourrait nuire à son développement. Ceci est évité par la présence des appendices du premier segment abdominal, qui fixent l'embryon à la coque.

Ce rôle de fixation des deux appendices cessera à son tour quand la fermeture du dos sera achevée; aussi voyons-nous les deux cupules s'aplatir, se détacher de la coque et rentrer sous l'épithélium, qui sécrétera sur tout le corps la cuticule.

Finalement, lors de l'éclosion, toute trace de l'appendice a disparu; son but étant atteint, il n'y a plus de raison pour qu'il subsiste. Ce fait de la disparition d'un organe ou de son atrophie n'est pas chose rare : ainsi la disparition des branchies dans beaucoup de groupes d'animaux et, dans un ordre d'idées très voisin, la disparition des dernières paires de pattes des chenilles de Lépidoptères.

A propos de ce rôle de fixation de l'appendice du premier segment abdominal, je dois revenir sur le travail de Rathke (24; 1844), qui le premier découvrit la présence de ces appendices et qui les observa d'une façon très précise, quoi qu'en disent beaucoup d'auteurs. Je suis convaincu que ces observations sont réelles et ne sont point le fait d'accidents. Ses intéressantes dissections, dans lesquelles il a trouvé la portion distale accolée à la cuticule, prouvent, d'une façon bien évidente, combien est forte l'adhérence, et je ne pense pas, avec d'autres, que l'on soit en droit d'émettre le moindre doute sur la véracité de l'auteur ou attribuer ses observations à de simples faits du hasard.

A mon avis, c'est Rathke qui a fait l'observation de fait la plus exacte; son interprétation n'a pas été la

bonne, mais nous ne lui en devons pas moins la première idée.

Le mode de développement de cet appendice que nous avons exposé plus haut, nous dispensera de grands commentaires pour lui donner une valeur morphologique. Il saute aux yeux, à première vue, que nous devons considérer cet organe comme un appendice homologue aux appendices thoraciques et céphaliques. C'est ce qui justifie le terme que j'ai employé : *appendice du premier segment abdominal.*

Voici les faits, en résumé, qui nous permettent d'admettre cette manière de voir, qui ne me paraît plus discutable et que du reste Graber admet en dernière analyse. L'apparition successive des différents appendices céphaliques, thoraciques et abdominaux nous permet d'envisager ce développement comme une succession se produisant à chaque segment de l'embryon d'avant en arrière, ce qui se produit du reste pour tous les organes de l'embryon.

Comme nous le fait remarquer Graber, la présence de la cavité cœlomique et de la segmentation parle en faveur de l'homologie avec les autres appendices, et plus tard, la constitution de l'organe bien développé ne nous laisse plus de doute.

Comme on l'a vu plus haut dans mes observations personnelles, j'ai trouvé avec certitude la présence d'une trachée dont le mode d'apparition et de développement est en tout semblable à celui des trachées qui se produisent à la base des appendices thoraciques.

L'absence de tissu musculaire, présentée par certains auteurs comme objection à cette théorie, ne me paraît

pas justifiée. Alors que la dégénérescence de l'appendice commence, c'est à peine si l'on peut déjà considérer les cellules mésodermiques amassées comme nettement différenciées en cellules musculaires. Or, je trouve d'une façon constante de semblables amas dans l'appendice du premier segment abdominal. Il va de soi que nous ne pouvons y voir un tissu musculaire, mais il n'en est pas moins vrai que nous pouvons les considérer comme les ébauches de ce tissu qui, par suite de l'atrophie du membre, n'a pas su arriver à complet développement.

Enfin, le lieu où se développent ces amas, peut-être ébauches musculaires, et ces trachées est exactement le même à l'appendice du premier segment abdominal qu'aux appendices thoraciques.

Le fait de la disparition ou de l'atrophie de ces éléments s'explique par le fait de leur non-utilité pendant la période embryonnaire. On ne s'explique guère, en effet, la fonction d'une trachée bien développée pendant la vie à l'intérieur de la coque. Le fait de la disparition d'un tronc trachéen pendant le cours du développement est un cas fréquent, et nous en trouvons un exemple frappant chez la larve qui nous intéresse. La trachée du métathorax, parfaitement ébauchée au début du développement, s'atrophie, et sa communication avec l'extérieur disparaît presque totalement.

Donc, en résumé, nous devons considérer l'appendice du premier segment abdominal comme un appendice homologue à celui des segments thoraciques et céphaliques, mais dont la partie distale a subi des modifications histologiques en vue d'une fonction spéciale; aussi ne suis-je pas d'accord avec Graber sur ce point : car

il considère la nature glandulaire comme un phénomène de dégénérescence (11, p. 48).

Que penser maintenant de la valeur phylogénétique de l'organe en question; en d'autres mots, pouvons-nous trouver des homologues de cet appendice dans les autres groupes d'Arthropodes? Il s'agit de savoir, avant tout, si nous pouvons considérer les appendices qui surgiraient sur le premier segment abdominal comme homologues à celui qui nous intéresse.

Anatomiquement parlant, nous devons admettre que tous les segments abdominaux ont, dans leur grande ligne, la même valeur, et le fait nous est prouvé d'une façon évidente par l'étude du développement embryonnaire. Ce sont, en somme, une série de métamères qui se séparent successivement par étranglement transversal aux dépens d'une portion embryonnaire bien différenciée, qu'il est dès lors convenu d'appeler abdomen.

Ces segments ont donc tous la même valeur morphologique, et ce n'est que plus tard dans le cours du développement qu'ils se différencient, notamment par l'apparition des organes génitaux.

Ces segments ayant la même valeur morphologique, il va de soi que les appendices de même nature qui pourraient y surgir seraient homologues. Nous avons déjà suffisamment insisté sur l'homologie non douteuse de l'appendice du premier segment abdominal avec les appendices des segments thoraciques; nous pouvons donc dire également que les appendices du deuxième, troisième, quatrième, etc., segments abdominaux ont la même valeur morphologique que les appendices thoraciques. Le mode et le lieu de formation embryonnaire de tous ces appen-

dices tant thoraciques qu'abdominaux sont les mêmes, mais leurs destinées ultérieures sont différentes. Alors que les appendices thoraciques prennent un grand développement chez les Insectes, les appendices abdominaux restent en retard dans leur évolution. Nous pouvons même dire que, dans la majorité des cas, dès la première métamorphose, c'est-à-dire lors de l'éclosion de la larve, il n'y a plus d'appendices abdominaux. A cette règle générale paraissent faire exception, d'après certains auteurs, les *Lépidoptères*, *Diptères* et *Hyménoptères*, qui, pendant leur vie larvaire, sont pourvus de soi-disant pattes abdominales. Leur identité morphologique avec les appendices embryonnaires des autres groupes d'Insectes n'étant pas bien établie, je ne ferai que signaler la chose.

Il est, de plus, intéressant de constater que dans ces trois groupes d'Insectes, on ne signale nulle part la présence pendant la vie embryonnaire d'appendices au premier segment abdominal pouvant être comparés à ceux des autres groupes. Il suffit de jeter un coup d'œil sur le tableau de la page 432; on verra en même temps que les *Lépidoptères*, *Diptères* et *Hyménoptères* sont placés à la fin de la liste, ce qui se justifie par le fait que nous considérons ces groupes comme les plus élevés et s'écartant le plus des Insectes primitifs *Aptérygogènes*, les *Thysanoures* et les *Collemboles*, leur adaptation à une vie embryonnaire plus perfectionnée se caractérisant par une autre disposition des membranes embryonnaires, par l'inutilité de la rupture de ces membranes et de la formation d'un organe dorsal, et par la possibilité chez quelques-uns d'entre eux, les *Lépidoptères*, de se nourrir avant l'éclosion aux dépens d'une certaine quantité de vitellus inter-

posée entre l'amnios et la séreuse. Un perfectionnement se fait également sentir dans les conditions d'existence et d'adaptation à une vie plus active chez l'Insecte adulte.

Les *Orthoptères*, au contraire, qui par un grand nombre de caractères se rapprochent des *Thysanoures* et des *Collemboles*, peuvent être compris parmi les Insectes les plus primitifs; aussi, dans le tableau de Carrière (2), les voyons-nous figurer en tête de la liste. Dans tous les embryons d'Insectes étudiés dans ce groupe, on nous signale la présence d'appendices même très développés au premier segment abdominal. Nous trouvons en même temps, dans le cours du développement embryonnaire, un accolement des membranes suivi d'une déchirure amenant finalement la formation d'un organe dorsal : type de développement tout différent de celui des Insectes supérieurs, la première nourriture de l'embryon provenant de l'assimilation de l'organe dorsal par le vitellus, avant la fermeture définitive du dos et la complète édification du *mésenteron*.

Chez les Insectes que nous considérons comme primordiaux, il n'est pas douteux, je pense, que l'appendice du premier segment abdominal joue un rôle dans la rupture des membranes embryonnaires.

Des *Orthoptères*, nous pouvons passer aux *Thysanoures* et *Collemboles*, dont *Campodea* nous donne un type très intéressant. En effet, il présente à ses segments abdominaux des membres rudimentaires. Il n'est pas douteux que nous puissions considérer l'appendice du premier segment abdominal de nos Insectes supérieurs comme homologue à celui du premier segment abdominal de *Campodea*, mais alors que chez les premiers il disparaît

dans le cours du développement, chez le second il perdure pendant le reste de l'existence. L'homologie de l'appendice du premier segment abdominal de *Campodea* avec ceux des autres segments étant admise, nous pouvons rappeler à nouveau l'homologie et des segments abdominaux et des appendices qui pourraient y surgir chez les Insectes proprement dits.

Si nous examinons attentivement les appendices abdominaux de *Campodea*, nous voyons que ceux du premier segment présentent un plus grand développement que ceux des autres, ce qui peut déjà nous faire admettre un commencement d'atrophie des appendices abdominaux postérieurs que nous ne trouvons plus chez les Insectes proprement dits.

Comment expliquer le fait de la persistance de ces appendices abdominaux chez *Campodea?*

Les *Thysanoures* et les *Collemboles* ne présentent pas de métamorphoses pendant le cours du développement : certains auteurs les ont rangés dans une classe à part des Insectes, celle des *Amétaboliques* ou *Aptérygogènes* (Brauer), par opposition aux Insectes *métaboliques* ou *ptérygogènes*. Le *Campodea*, en effet, lors de son éclosion, présente déjà tous les caractères de l'adulte, et ce n'est que par mues successives qu'il arrive à cet état final. Nous n'avons pas ici de formes successives différentes (*Puppe* et *Imago*). L'état adulte directement atteint, correspond chez les Insectes proprement dits à l'état larvaire.

Ici se pose une question intéressante : Sommes-nous bien en droit de considérer ce type de *Campodea* comme le type primitif des Insectes? En d'autres termes, nous

trouvons-nous ici en présence d'un Insecte supérieur qui, ayant dans le cours du développement subi une série d'atrophies et de retards, aurait été ramené à un état larvaire persistant pendant toute la vie (citons comme point de comparaison certaines femelles de Lépidoptères), ou d'un Insecte primitif qui, conservant ses caractères primordiaux, n'aurait pas bénéficié des perfectionnements et des avantages de l'adaptation à une vie meilleure? L'étude du développement et l'examen attentif de tous les caractères primordiaux de *Campodea* ne nous permettent pas de douter de la seconde hypothèse, et un des points les plus importants, à mon avis, c'est la persistance des appendices abdominaux pendant toute la vie.

Notons encore que chez *Campodea*, une segmentation est bien visible à l'appendice du premier segment abdominal, ce qui est un fait important en ce sens qu'il est un argument de poids pour notre hypothèse que l'appendice du premier segment abdominal des embryons d'Insectes doit être considéré comme un appendice homologue à ceux des segments thoraciques.

Ce type de *Campodea* nous permet d'établir aisément un trait d'union entre les *Insectes* et les *Myriapodes*. Le développement embryonnaire des *Myriapodes* se rapproche beaucoup de celui de *Campodea*.

Lors de l'éclosion de la larve, nous sommes en présence d'un stade qui ne se distingue de l'état adulte que par le nombre restreint des segments et des appendices abdominaux. Une succession de mues finit par donner la forme et la constitution définitives du corps.

De toutes ces conditions générales, sur lesquelles il serait trop long de s'étendre ici, nous voyons que nous

pouvons établir des traits d'union et une succession dans les développements depuis les *Myriapodes* jusqu'aux *Insectes supérieurs métaboliques* par l'intermédiaire des *Insectes inférieurs amétaboliques*.

Pour ne prendre qu'un exemple, nous assistons progressivement à la réduction des appendices abdominaux, qui, par suite de l'adaptation à un autre genre d'existence, plus perfectionné, ne sont plus d'aucune utilité pour la vie. Les *Myriapodes* nous montrent un type larvaire *polypode* bien caractérisé. *Campodea* accuse déjà un commencement de réduction des appendices abdominaux, mais ces appendices perdurent pendant toute la vie; les Insectes les plus inférieurs ne présentent plus cette disposition que pendant la vie larvaire, l'Insecte adulte étant totalement dépourvu d'appendices abdominaux homologues aux appendices thoraciques. Finalement, chez les Insectes les plus élevés, nous ne trouvons plus trace, dans le cours du développement embryonnaire, de semblables appendices abdominaux.

BIBLIOGRAPHIE.

1. Ayers (H.), *On the Development of OEcanthus niveus and its Parasite Teleas*. (Mem. Bost. Soc. Nat. Hist., vol. III, 1884.)

2. Carrière (J.), *Die Drüsen am ersten Hinterleibsringe der Insektenembryonen*. (Biol. Centralbl., Bd XI, 1891.)

3. Carrière (J.), *Erwiederung*. (Biol. Centralbl., Bd XI, 1891.)

4. Cholodkowsky (N.), *Studien zur Entwicklungsgeschichte der Insecten*. (Zeitschr. für wiss. Zool., Bd XLVIII, 1889.)

5. Cholodkowsky (N.), *Die Entwicklung von Phyllodromia (Blatta) germanica.* (Mem. Acad. Petersb. [7], t. XXXVIII, n° 5. 1891.)

6. Graber (V.), *Ueber die Polypodie bei den Insectenembryonen.* (Morph. Jahrb., Bd XIII, 1888.)

7. Graber (V.), *Vergleichende Studien über die Keimhüllen und die Rückenbildung der Insecten.* (Denkschr. Akad. Wien, Bd LV.)

8. Graber (V.), *Ueber den Bau und die phylogenetische Bedeutung der embryonalen Bauchanhänge der Insecten.* (Biol. Centralbl., Bd IX, 1889.)

9. Graber (V.), *Vergleichende Studien am Keimstreif der Insecten.* (Denkschr. Akad. Wien, Bd LVII, 1890.)

10. Graber (V.), *Bemerkungen zu J. Carrière's Aufsatz « die Drüsen am ersten Hinterleibsring der Insectenembryonen ».* (Biol. Centralbl., Bd XI, 1891.)

11. Graber (V.), *Ueber die morphologische Bedeutung der ventralen Abdominalanhänge der Insectenembryonen.* (Morph. Jahrb., Bd XVII, 1891.)

12. Graber (V.), *Zur Embryologie der Insecten.* (Zool. Anz. Jahrg. XIV, 31. Aug. 1891.)

13. Graber (V.), *Beiträge zur vergleichenden Embryologie der Insecten.* (Denkschr. Akad. Wien, Bd LVIII.)

14. Heymons (R.), *Zur Morphologie der Abdominalanhänge bei den Insecten.* (Morph. Jahrb., Bd XXIV, 1896.)

15. Heymons (R.), *Entwicklungsgeschichtliche Untersuchungen an Lepisma saccharina L.* (Zeitschr. für wiss. Zool., Bd LXII, 1897.)

16. Korotneff (A.), *Die Embryologie der Gryllotalpa.* (Zeitschr. für wiss. Zool., Bd XLI, 1885.)

17. Kowalewsky (A.), *Embryologische Studien am Würmern und Arthropoden.* (Mem. Acad. St-Pétersbourg, t. XVI, 1871.)

18. Lécaillon (A.), *Recherches sur l'œuf et sur le développement embryonnaire de quelques Chrysomélides.* (Thèse, Paris, 1898.)

19. Lécaillon (A.), *Sur les enveloppes ovulaires de quelques Chrysomélides.* (Arch. anat. micr., t II, 1898.)

20. Lécaillon (A.), *Recherches sur le développement embryonnaire de quelques Chrysomélides*. (Arch. anat. micr., t. II, 1898.)

21. Metschnikoff (E.), *Embryologie der doppelfüssigen Myriapoden (Chilognatha)*. (Zeitschr. für wiss. Zool., Bd XXIV, 1874.)

22. Nusbaum (J.), *Zur Frage der Segmentirung des Keimstreifen der Bauchanhänge der Insectenembryonen*. (Biol. Centr., Bd IX, 1889.)

23. Patten (W.), *The Development of Phryganids, with a preliminary Note on the Development of Blatta germanica*. (Quart. Journ. Micr. Sc., vol. XXIV, 1884.)

24. Rathke (H.), *Zur Entwicklungsgeschichte der Maulwurfsgrille*. (Archiv für Anat. u. Physiol., 1844.)

25. Wheeler (W.), *Homologues in Embryo Hemiptera of the Appendages of the first abdominal segment of other Insect Embryos*. (American Naturalist, vol. XXXIII, July, 1889.)

26. Wheeler (W.), *Ueber drüsenartige Gebilde im ersten Abdominalsegment der Hemipterenembryonen*. (Zool. Anz., Sept. 30, 1889.)

27. Wheeler (W.), *The embryology of Blatta germanica and Doryphora decemlineata*. (Journ. of Morph., vol. III, 1889.)

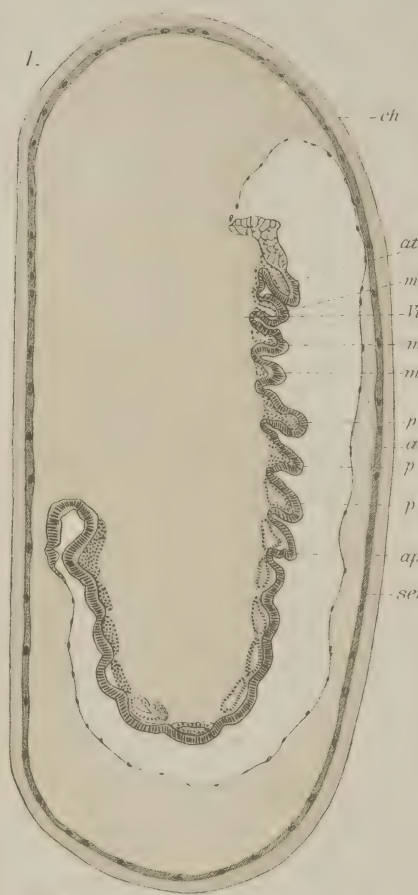
28. Wheeler (W.), *On the Appendages of the First Abdominal Segment of Embryo Insects*. (Trans. Wis. Acad. Sc. Arts and Letters, vol. VIII, 1890.)

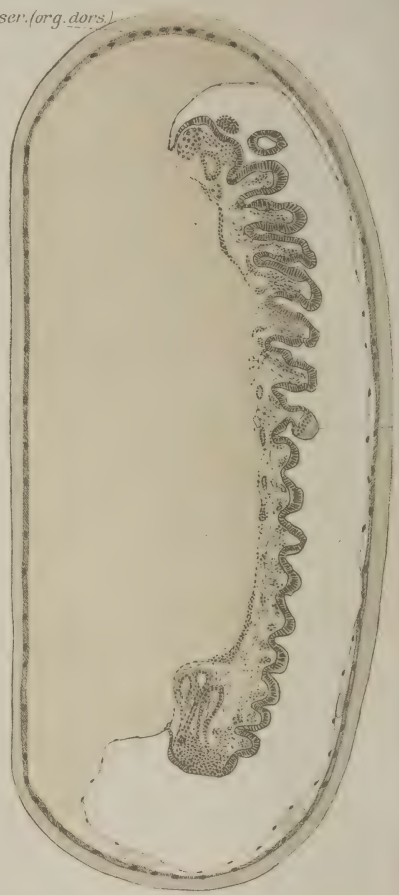
29. Wheeler (W.), *A Contribution to Insect Embryology*. (Journ. Morph. Boston, vol. VIII, 1893.)

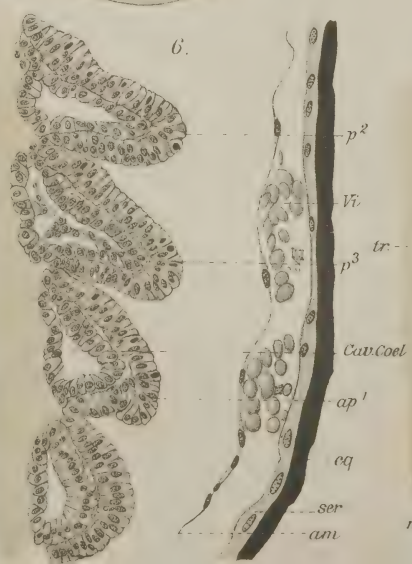
EXPLICATION DE LA PLANCHE.

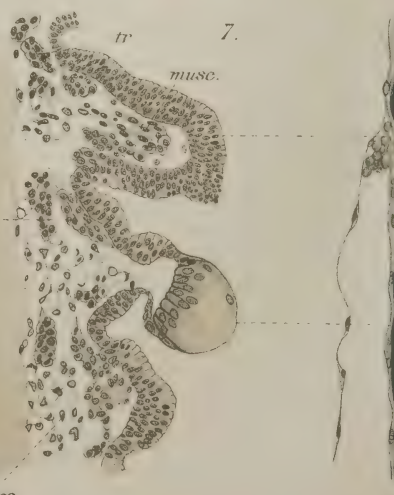
Gross. — Fig. 1 à 5 = 70. Fig. 6 à 9 = 250.

Fig. 1. — Coupe sagittale latérale d'un embryon âgé de *4 jours*. — Première apparition de l'appendice du premier segment abdominal. — *ch.*, chorion. — *am.*, amnios. — *ser.*, séreuse. — *at.*, antenne. — *md.*, mandibule. — mx^1, première maxille. — mx^2, deuxième


1.
ch
at
md
Vi
mx 1
mx 2
p 1
am
p 2
p 3
ap 1
ser

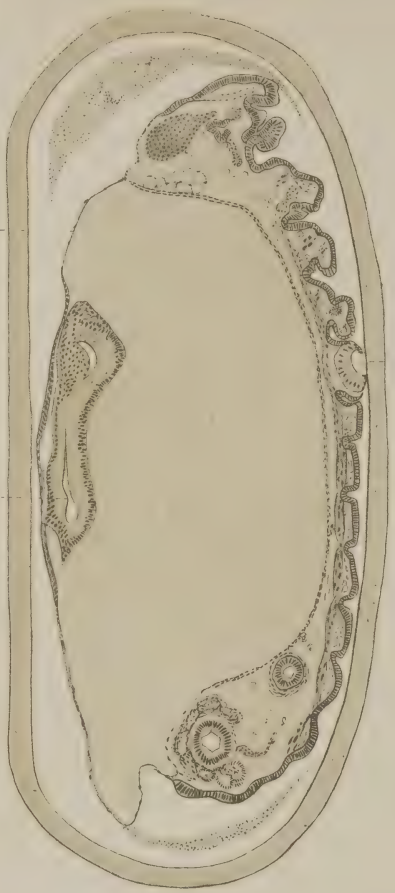

ser. (org. dors.)
2.
ap


6.
p 2
Vi
p 3
tr
Cav. Coel
ap 1
eq
ser
am

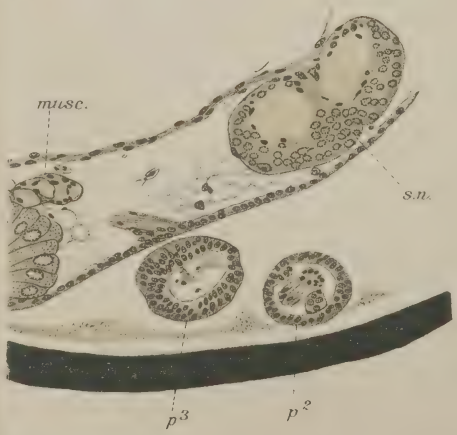

tr
7.
musc.
mes.

ser/org dors
a
ap¹
org. dors
7.
am
ap¹
ser.
am
5.
am
ap¹
org. dors.
8.
tr
9.
sn.?
tr.
musc.
s.n.
musc.
d. cut.
p3
p2

5.



l.



maxille. — p^1, p^2, p^3, première, deuxième et troisième paires de pattes thoraciques. — ap^1, appendice du premier segment abdominal. — *vi.*, vitellus.

Fig. 2. — Coupe sagittale latérale d'un embryon âgé de *6 jours*. — *sr.* (org. dors.), origine de l'organe dorsal (séreuse épaissie).

Fig. 3. — Coupe sagittale latérale d'un embryon âgé de *7 jours*, caractérisé par le décollement de la séreuse, a — a^1 points où s'arrêtera la dégénérescence des membranes embryonnaires accolées. Appendice du premier segment abdominal accolé à la séreuse.

Fig. 4. — Coupe sagittale latérale d'un embryon âgé de *8 jours*. Disparition presque totale des membranes à la partie antérieure. — Filament amnio-sérosique persistant encore à l'extrémité postérieure jusqu'au niveau du sixième segment abdominal. — *org. dors*, organe dorsal en voie de formation.

Fig. 5. — Coupe sagittale latérale d'un embryon âgé de *10 jours*. — Fermeture provisoire du dos. — Maximum de développement de l'organe dorsal.

Fig. 6. — Même embryon que figure 1. — Gross. : 250; *cq.*, coque. — *cav. cœl.*, cavité cœlomique.

Fig. 7. — Même embryon que figure 2. — Gross. : 250; *tr.*, trachée. — *musc.*, muscles en voie de formation. — *mes.*, tissu mésenchymatique.

Fig. 8. — Même embryon que figure 3. — Gross. : 250. L'appendice du premier segment abdominal est accolé à la coque; l'amnios est détruit en ce point. Il reste encore quelques noyaux de la séreuse.

Fig. 9. — Coupe transversale d'un embryon âgé de *12 jours*. — Gross. : 250. La fermeture du dos est complète. L'appendice du premier segment abdominal est complètement rentré sous la surface du corps. — *sn.*, système nerveux. — *sn ?*, noyaux de cellules ayant l'aspect de cellules nerveuses. — *d. cut.*, dent cuticularisée.

Quelques observations nouvelles sur les oxydes d'uranium (1); par le Dr W. Oechsner de Coninck.

Je demande à l'Académie royale la permission de revenir sur ce sujet qui m'occupe depuis fort longtemps. Outre la modification rouge de l'oxyde uranique dont j'ai récemment entretenu l'Académie, j'ai obtenu l'oxyde uraneux UO^2, sous différentes modifications, en réduisant par l'hydrogène, à des températures variables, l'oxyde uranique, le chlorure et le bromure d'uranyle; et, d'après les caractères de certaines de ces modifications, j'ai été amené à penser qu'elles devaient constituer des polymères de l'oxyde uraneux; je reviendrai sur ce point. En étudiant récemment l'oxyde vert d'uranium, j'ai été conduit à une conclusion semblable. Voici d'ailleurs l'expérience :

De l'oxyde vert d'uranium est dissous dans la quantité suffisante d'acide sulfurique pur et concentré; la liqueur est étendue d'environ trois volumes d'eau; elle est colorée en vert foncé. J'ajoute alors peu à peu une solution aqueuse concentrée de méthylamine, et j'obtiens un précipité floconneux (2) brun, se dissolvant avec la

---

(1) Institut de chimie (Université de Montpellier).

(2) Si l'on traite une solution aqueuse de nitrate d'uranium par une solution de méthylamine pure, en ayant soin d'ajouter cette dernière par petites portions, on obtient un précipité jaune orangé d'hydrate uranique, *et il ne se fait pas d'uranate de méthylamine.* La méthylamine se comporte, dans cette expérience, comme l'ammoniaque exempte de carbonate.

plus grande facilité dans les acides étendus; après avoir essayé quelques réactions avec ce précipité, je l'ai lavé à l'eau pendant une journée; je l'ai ensuite délayé dans l'eau, et j'ai chauffé le Becher pendant quelques heures; j'ai alors vu le précipité changer d'aspect, et surtout de consistance; il s'est transformé progressivement en un précipité pulvérulent, lourd et beaucoup plus dense que le précipité primitivement déposé et, surtout, beaucoup plus difficilement soluble dans les acides étendus.

Ce changement est dû à une polymérisation; je m'en suis assuré en recueillant le nouveau précipité, le desséchant à basse température, et le soumettant à une détermination cryoscopique, d'après les indications de Raoult. Le résultat de mes expériences ne m'a pas permis de fixer le coefficient de la polymérisation, mais m'autorise pleinement à affirmer que le précipité a subi un certain degré de polymérisation.

Si l'on répète l'expérience que je viens de décrire avec l'oxyde vert d'uranium et l'acide chlorhydrique concentré, on arrive à des résultats tout à fait semblables.

Montpellier, 21 mars 1904.

COMITÉ SECRET.

La Classe prend notification, en comité secret, des listes de présentation arrêtées par la Section des sciences mathématiques et physiques et par la Section des sciences naturelles, pour les places vacantes de correspondant et d'associé.

OUVRAGES PRÉSENTÉS.

—

Lancaster (*A.*). Observatoire royal de Belgique. Annuaire météorologique pour 1904. In-18.

Mourlon (*M.*). Compte rendu sommaire de la IXe session du Congrès géologique international qui s'est tenu à Vienne, en août 1903. Bruxelles, 1904; extr. in-8° (8 p.).

Van den Bossche. « Icones selectae horti Thenensis », avec les descriptions et annotations de M. Ém. De Wildeman, tome IV, 1904.

Blas (*C.*). Traité de chimie analytique. Analyse par la voie sèche ou au chalumeau, tome Ier, 4e édition. Louvain-Paris, 1903; in-8°.

Doudou (*Ern.*). Nouvelles explorations dans les cavernes d'Engihoul. Paris, 1903; extr. in-8° (10 p.).

Barrette (*E.*). Cours de trigonométrie à l'usage des candidats aux écoles spéciales. Gand, 1904; in-8° (259 p.).

Mathieu (*E.*). La roche kératophyrique de Grand-Coo. Bruxelles, 1904; extr. in-8° (14 p.).

— *Archives de biologie.* (Éd. Van Beneden et Charles Van Bambeke), tome XX, fascicule 3.

Bruxelles. *Ministère de l'Intérieur et de l'Instruction publique.* Institut colonial international. Publications : Le régime minier aux colonies, 6e série, tome III.

— *Ministère de l'Industrie et du Travail.* Carte géologique de la Belgique au 40 000e, feuilles : Tongres-Herderen, Waremme-Momalle, Alleur-Liége, Hertain-Tournai, Antoing-Leuze, Wasseiges-Braives, Sartine-Rongy, Laplaigne-Péruwelz, Belœil-Baudour, Jurbise-Obourg, Mons-Givry, Aulnois-Grand'Reng, Aye-Marche.

—

Allemagne et Autriche-Hongrie.

Berlin. *Meteorologisches Institut.* Ergebnisse der Wolkenbeobachtungen in Potsdam... in 1896 und 1897. In-4°.

— *Technische Hochschule.* Alte mathematische Probleme und ihre Klärung im neunzehnten Jahrhundert. Rede am 26. Januar 1904. In-8°.

Budapest. *Geologisches Anstalt.* Erläuterung zur Zone 15-17. Mit Karte.

Leipzig. *Verein für Erdkunde.* Wissenschaftliche Veröffentlichungen, Band VI, 1904.

Hanau. *Wetterauische Gesellschaft.* Bericht, 1899-1903.

—

Cook (*S.-E.*). The permanency of planetary atmospheres, according to the kinetic theory of gases. Washington, 1902; extr. in-8° (16 p.).

Harris (*R.-A.*). The semidiurnal tides in the Northern part of the Indian Ocean. Washington, 1903; extr. in-4° (7 p.).

—

France.

Albert Ier de Monaco (*S. A. Mgr le Prince*). Résultats des campagnes scientifiques, fascicule 25 : Spongiaires des Açores, Monaco, 1904; in-4°.

Moissan (*Henri*). Traité de chimie minérale, tome I (Métalloïdes) et tome II (Métaux). Paris, 1904; 2 vol. in-8°.

Duhem (*Pierre*). Recherches sur l'hydrodynamique. 2e série. Paris, 1904; in-4° (153 p.).

Poincaré (*H.*). Théorie de Maxwell et les oscillations hertziennes. La télégraphie sans fil. Paris, 1904; in-18 (VI-110 p.).

Vial (*Louis-Charles-Émile*). Mécanisme et dynamisme cardiaques. Loi fonctionnelle de la création. Paris, 1904; in-8° (21 p.).

—

Willcocks (*Sir William*). The Assuân reservoir and Lake Moeris. Londres, 1904; in-8°, avec une traduction française, par A. M. Kemeid (38 p.).

Lockyer (*Will.*). Sunspot variation in latitude, 1861-1902. Londres, 1904; extr. in-8° (12 p. et fig.).

LONDRES. *Geological Survey*. Memoirs, volume III, 1904; in-8°.

— *The Nautical Almanac* for 1907.

—

Karpinsky (*A.*). Ueber die eocambrische Cephalopodengattung Volborthella Schmidt. Saint-Pétersbourg, 1903; in-8° (42 p.).

— Ueber ein merkwürdiges Groruditgestein aus dem Transbaïkal-Gebietes. Saint-Pétersbourg, 1904; in-8° (50 p.).

Teixeira (Dr *F. Gomes*). Obras sobre mathematica, volume 1°. Coïmbre, 1904; in-4°.

SAN FERNANDO. *Instituto y Observatorio de marina*. Anales, 1902. In-4°.

ACADÉMIE ROYALE DE BELGIQUE

BULLETIN

DE LA

CLASSE DES SCIENCES

1904. — N° 5.

CLASSE DES SCIENCES.

Séance du 10 mai 1904.

M. Léon Fredericq, directeur.

M. le chevalier Edmond Marchal, secrétaire perpétuel.

Sont présents : MM. P. De Heen, *vice-directeur;* Éd. Dupont, Éd. Van Beneden, C. Malaise, F. Folie, Jos. De Tilly, Ch. Van Bambeke, Alfr. Gilkinet, G. Van der Mensbrugghe, W. Spring, Louis Henry, M. Mourlon, Paul Mansion, C. Le Paige, Ch. Lagrange, J. Deruyts, J.-B. Masius, J. Neuberg, A. Lancaster, Leo Errera, Julien Fraipont, A. Jorissen, P. Francotte, Paul Pelseneer, *membres;* Aug. Lameere, *correspondant.*

M. G. Dewalque, indisposé, motive son absence.

CORRESPONDANCE.

Hommages d'ouvrages :

1° *Archives internationales de physiologie*, publiées par MM. Léon Fredericq et Paul Heger, vol. I, avril 1904;

2° Neuf brochures, sur des sujets de physique, parues de 1879 à 1895, et publiées par M. G. Van der Mensbrugghe;

3° *Kunstformen der Natur*, 10te und 11te Lieferung; par Ernest Haeckel, associé;

4° *Étude sur la formation des feuillets et des organes dans le bourgeon terminal et dans la queue des embryons des poissons téléostéens;* par A. Swaen et A. Brachet;

5° Trente-cinq brochures de Mlle Ioteyko, docteur en médecine, chef du laboratoire de psycho-physiologie de l'Université de Bruxelles.

— Remerciements.

La Classe renvoie à l'examen de MM. Spring et Henry un travail intitulé : *Sur quelques amines à radical alcoolique fluoré* (première communication); par Fr. Swarts.

RAPPORTS.

Sur l'avis de M. De Heen, la Classe décide le dépôt aux archives d'une note de M. Malvaut, sur la *Transformation en force motrice des différences de densité existant entre les gaz hydrogène et oxygène par rapport à l'eau.*

Sur la synthèse de l'acide stéarique par les décharges électriques; par A. de Hemptinne.

Rapport de M. W. Spring, premier commissaire.

« Poursuivant ses recherches, bien connues de l'Académie, sur l'action de l'effluve électrique sur la combinaison chimique des corps, M. de Hemptinne est arrivé à résoudre un problème important : celui de la fixation directe de l'hydrogène sur l'acide oléique, c'est-à-dire de la transformation de celui-ci en acide stéarique. Ce résultat est non seulement de valeur théorique, mais on entrevoit aussi qu'il permettra l'utilisation pratique d'une matière abondante et restée sans emploi, pour ainsi dire, jusqu'à présent.

Je propose donc, avec empressement, l'insertion de la note de l'auteur dans le *Bulletin* de la séance. »

M. De Heen, second commissaire, déclarant adhérer aux conclusions du rapport de M. Spring, celles-ci sont adoptées par la Classe.

—

Les lois de l'ergographie. — *Étude physiologique et mathématique;* par Mlle J. Ioteyko.

Rapport de M. Léon Fredericq, premier commissaire.

« Mlle Ioteyko, dont les travaux font autorité dans les questions de fatigue musculaire, nous soumet une étude physiologique et mathématique très documentée sur les lois de l'*ergographie*. Je n'ai pas la compétence voulue pour faire la critique de la partie mathématique du travail. Je crois cependant pouvoir en esquisser l'idée directrice.

L'auteur a recueilli un grand nombre de courbes de fatigue au moyen de l'*ergographe* de Mosso. Le sujet exécute une série nombreuse de mouvements énergiques jusqu'à production de fatigue intense : il soulève toutes les deux secondes un poids de plusieurs kilogrammes au moyen de la flexion du doigt. La hauteur de chaque soulèvement s'inscrit sous forme d'une droite ou ordonnée sur le cylindre enregistreur animé d'un mouvement lent de rotation. En reliant les sommets des différentes droites inscrites successivement, on obtient la *courbe de fatigue* qui s'incline graduellement vers l'abscisse.

L'étude mathématique de cette courbe a montré, selon l'auteur, que la hauteur de chaque ordonnée (droite correspondant à un effort de soulèvement du poids) peut être représentée par la formule

$$n = \mathrm{H} - at^3 + bt^2 - ct,$$

dans laquelle H représente l'ordonnée initiale, maximale; t, le temps écoulé depuis le début de l'expérience; a, b, c, des facteurs ou paramètres qui varient suivant les sujets et les conditions de chaque série d'expériences.

La courbe ergographique se trouverait donc à chaque instant sous l'influence des trois facteurs a, b, c. L'auteur admet que le facteur positif b qui tend à élever la courbe suivant le carré du temps ($+ bt^2$), doit représenter l'action des centres nerveux moteurs, dont l'action grandit au cours du travail ergographique. Les paramètres négatifs b et c sont attribués à des processus qui s'accomplissent dans le muscle même et qui ont pour effet de diminuer progressivement le travail utile. La constante négative c, qui tend à abaisser la courbe proportionnellement au temps, correspondrait à la diminution des réserves de

combustible musculaire, tandis que l'autre constante négative a, qui tend à diminuer l'énergie suivant le cube du temps, caractériserait la perte de puissance due à l'intoxication locale par les déchets de la combustion organique.

Cette hypothèse fort ingénieuse s'appuie sur de nombreuses séries d'expériences dans lesquelles l'auteur étudie diverses influences (ingestion d'alcool, de sucre, de caféine, anémie du bras, etc.) qui, dans son idée, agissent principalement sur les processus physiologiques dont dépendent les valeurs a, b, c.

Signalons de plus les chapitres intéressants sur une loi de *décroissance de l'effort à l'ergographe*, sur ce que l'auteur appelle la *relation du quotient de fatigue*, sur l'accumulation de fatigue ou *fatigue rémanente*, dont l'analyse nous entraînerait trop loin.

On peut ne pas se rallier à quelques-unes des conclusions un peu subtiles de l'auteur : on n'en doit pas moins louer et encourager cette tentative de soumettre à l'analyse mathématique un phénomène en apparence aussi complexe que la fatigue musculaire.

J'ai l'honneur de proposer à la Classe l'insertion du mémoire de Mlle Ioteyko dans le *Bulletin* de la séance, avec les graphiques qui l'illustrent, et de voter des remerciements à l'auteur en l'engageant à poursuivre ses intéressantes recherches. »

M. Masius, second commissaire, déclare que, le mémoire de Mlle Ioteyko présentant beaucoup d'intérêt, il se rallie aux conclusions du rapport de M. Fredericq.

Ces conclusions sont adoptées par la Classe.

COMMUNICATIONS ET LECTURES.

—

La droite plus courte distance et le carré de l'hypoténuse *(une erreur de méthode dans la géométrie élémentaire; la notion de direction et sa nécessité)*; par Ch. Lagrange, membre de l'Académie.

1. Dans un récent travail (sur une démonstration du postulatum d'Euclide) (*), j'ai fait voir que, sans introduire aucun postulat nouveau et en suivant simplement et tel quel, sans autre discussion, l'ordre des propositions, soit de nos traités classiques, soit d'Euclide, on peut démontrer le postulatum, qui devient ainsi un théorème. J'ai terminé ma communication en faisant remarquer que la voie ainsi suivie n'était cependant ni la plus rationnelle ni la plus simple, et que cette dernière se réaliserait par l'introduction explicite d'une idée dont, aussi bien qu'Euclide, tous nos traités se servent implicitement, mais en commettant la faute de ne pas le dire, savoir l'idée première d'orientation ou de direction, tout aussi nécessaire et inéluctable que celle de distance ou de longueur.

Je me propose maintenant de présenter synthétiquement l'exposé très simple de la géométrie qui résulte de l'introduction explicite de cette notion (tout en y donnant

---

(*) *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique* (Classe des sciences), nº 1, 1904, p. 26.

en passant, et dans son ordre, la démonstration directe du postulatum); mais il convient, en vue même de faire sentir l'importance d'un tel exposé, d'insister d'abord sur le point que signale mon titre, c'est-à-dire sur l'erreur de méthode commise dans l'exposé classique actuel; cela fera bien ressortir, en outre, qu'il s'agit beaucoup moins de renverser des idées premières que de réformer, en les précisant, un ordre vicieux dans lequel on a pris l'habitude de les enchaîner. Ce dernier état de choses s'établit d'ailleurs tout d'un coup, par un *fait* externe, vérifiable pour tout le monde : c'est que, dans tout l'enchaînement actuel de la géométrie élémentaire, on ne se sert pas une seule fois (dans tous les théorèmes qui se traduisent par des égalités), *fût-ce implicitement,* de la définition qu'on a commencé par donner de la ligne droite. On se sert donc, sans le dire ou sans le savoir, d'une autre définition qu'on ne formule pas. C'est cette autre définition que nous nous proposons tout simplement d'énoncer en la précisant.

2. Nous ne savons si on a déjà fait cette remarque capitale (remarque que le premier élève venu vérifiera en prenant son Blanchet) qu'on peut, sans rien changer à leur ordre, établir, à travers les propositions du premier et du troisième livre, une chaîne, suivant laquelle, et sans faire une seule fois usage de la définition qu'on donnait de la droite comme étant la plus courte distance entre deux points, on démontre le carré de l'hypoténuse, c'est-à-dire le principe fondamental de la relation entre les distances, et avec lui, à titre de théorème, la propriété de la droite *d'être le plus court chemin entre deux points.*

Voici la suite de ces propositions (on a marqué d'un

astérisque celles qui constituent la voie directe vers le carré de l'hypothénuse) :

(*Géométrie* LEGENDRE-BLANCHET.)

LIVRE I.

Proposition I. Par un point d'une droite, une et une seule perpendiculaire à cette droite.

Proposition II. Somme angles adjacents égale deux droits.

Proposition III. Si somme angles adjacents égale deux droits, les deux côtés sont en ligne droite.

Proposition IV. Angles opposés au sommet sont égaux.

Proposition *V. Triangles égaux pour un angle égal entre côtés égaux.

Proposition VI. Triangles égaux pour un côté égal adjacent à deux angles égaux.

Proposition *XV. D'un point extérieur, une perpendiculaire unique sur une droite. (On s'appuie sur V) (*).

Proposition *XIX. Triangles rectangles égaux pour hypothénuse égale et un angle égal. (On s'appuie sur XV.)

Proposition XXI. Deux perpendiculaires à une droite sont parallèles.

Proposition XXII. Par un point une et une seule parallèle à une droite.

Proposition *XXIII. Si deux droites sont parallèles, toute perpendiculaire à l'une est perpendiculaire à l'autre.

Proposition XXIV. Deux parallèles à une troisième sont parallèles entre elles.

Proposition *XXV. Deux parallèles forment avec transversale angles alternes-internes égaux, etc. (On s'appuie sur XIX.)

(*) Dans la proposition XV, livre I (et d'ailleurs déjà dans d'autres), on fait usage de l'idée qu'entre deux points on ne peut mener qu'une ligne droite; mais, dans les définitions, cette *notion* n'est nullement donnée, et avec raison, comme étant une conséquence de la droite plus courte distance, mais bien comme une notion intuitive distincte. Voyez de même Rouché et de Comberousse, Introduction, § 2.

Proposition XXVI. Réciproque de XXV.

Proposition *XXVII. Deux angles à côtés parallèles sont égaux.

Proposition XXVIII. Deux angles à côtés perpendiculaires sont égaux.

Proposition XXIX. Somme angles triangle égale deux droits.

Proposition *XXXI. Côtés et angles opposés d'un parallélogramme sont égaux. (On s'appuie sur VI.)

* *Coroll.* Deux parallèles comprises entre parallèles sont égales; deux parallèles sont partout également distantes.

Proposition XXXIII. Si deux côtés opposés d'un quadrilatère sont égaux et parallèles, les deux autres côtés sont égaux et parallèles et l'on a un parallélogramme. (On s'appuie sur V.)

Proposition XXXIV. Les deux diagonales d'un parallélogramme se coupent mutuellement en deux parties égales.

LIVRE III.

Proposition I. Deux parallélogrammes de bases et hauteurs égales sont équivalents. (On s'appuie sur XXVII, XXXI, livre I.)

Proposition *II. Triangle, égal à demi-parallélogramme de mêmes base et hauteur.

Proposition *III. Deux rectangles de même hauteur entre eux comme leurs bases.

Proposition *IV. Deux rectangles entre eux comme les produits des bases et hauteurs.

Proposition V. Aire parallélogramme.

Proposition *VI. Aire triangle.

Proposition VII. Aire trapèze.

Proposition VIII. Carré d'une somme; IX, carré d'une différence; X, rectangle d'une somme et d'une différence.

Proposition *XI. Carré de l'hypoténuse. (On s'appuie sur V, livre I.)

Proposition *XII. Carré d'un côté opposé à un angle aigu.

Proposition *XIII. Carré d'un côté opposé à un angle obtus.

De XI, XII, XIII, on tire $c < a + b$, d'où, en général, la *droite* $<$ un contour quelconque de mêmes extrémités.

Ce que nous avancions est par cela même établi.

Or on accordera qu'un exposé de la géométrie qui non seulement ne fait pas usage de la définition qu'il a commencé par donner de la ligne droite (*), mais qui arrive à démontrer, sous la forme d'un théorème, ce qu'exprimait cette définition dont il ne s'est pas servi, s'il ne fait pas en cela un cercle vicieux est pour le moins la négation même d'une méthode logique (**).

3. La question de fait en présence de laquelle on se trouve, c'est donc qu'on se sert implicitement, dans nos traités (comme déjà dans Euclide, quoique sa définition et ses déductions soient autres), d'une définition de la ligne droite qui ne s'y trouve pas énoncée. Si, par la simple analyse de leurs déductions : 1° on découvre cette définition non énoncée ; 2° on prouve que cette définition renferme comme conséquence tant la propriété de la

---

(*) Quant à l'idée qu'on y joint dans les traités, mais, avec raison, comme notion intuitive distincte, que par deux points on ne peut mener qu'une seule ligne droite (notion d'où l'on déduit que deux droites ne se coupent qu'en un point), elle tombe elle-même sous le coup de cette critique ; car avant la proposition V, livre I, il n'en est fait non plus aucun usage dans l'établissement et l'enchaînement des propositions.

(**) Euclide, dont l'ordre de déduction a été abandonné par nos traités actuels, ne commet pas la faute qui est ici signalée ; mais celle qui lui est commune avec ces traités, c'est (ainsi que le remarquait, dès 1758, Kœnig, dans son édition d'Euclide) qu'il ne se sert pas une seule fois dans tout son ouvrage (où il démontre que la ligne droite est le plus court chemin [$c < a + b$]) de la définition inutilisable (semblablement ou également située entre ses points) qu'il commence par donner de la ligne droite. Il se sert donc, comme eux, d'une autre définition qu'il ne donne pas, et qui est celle de la *direction*.

droite plus courte distance que celle de la droite unique entre deux points, on sera en possession du véritable ordre rationnel d'exposition de la géométrie ; on aura en outre l'avantage de ne pas avoir contre soi les défenseurs de ces traités classiques, puisqu'on ne dira rien qu'on ne tire de ce qu'eux-mêmes ont déjà, en fait, mis en œuvre.

4. Or il suffit de lire les premières propositions (I à IV) du premier livre de la géométrie classique pour voir que le principe qui y définit implicitement la ligne droite (principe qui n'est ni l'idée de la plus courte distance, ni celui de la droite unique entre deux points, lesquelles n'interviennent en rien) est, sous la représentation de la figure appelée *angle*, celui de la *direction* ou *orientation* des points les uns par rapport aux autres (*). Et cette notion, ainsi pratiquement introduite par la constatation d'un fait, on y reconnaît dès lors, au même titre que la notion de *distance* ou *intervalle* entre les points, un principe nécessaire de la géométrie ou science de l'espace considéré comme une *collection de points*. Je reviendrai plus loin sur le caractère nécessaire de cette dernière définition, — la seule qu'on soit jamais parvenu à donner de l'espace, — en reprenant de plus haut l'ordre des déductions ; pour le moment, restant sur un terrain pratique, je vais présenter, dans l'ordre qui me paraît rationnel, la suite des idées de principe qui résulte de la constatation indiscutable, dans la géométrie classique, de cette notion première d'orientation.

(*) C'est de cette notion d'orientation qu'il est fait usage implicite dans la série des théorèmes conduisant, comme on l'a signalé plus haut, au carré de l'hypoténuse.

I. Pour différencier entre eux deux points (ou *éléments*, pour éviter l'influence de la figuration réalisée) AB de l'espace (collection d'éléments), il faut une première donnée qu'on appellera *module* ρ ou *distance* entre A et B.

Si l'on considère d'abord le point A, puis le point B, on dira que ρ est le module de B par rapport à A.

II. Pour différencier entre eux plusieurs éléments ou points B équidistants de A (ou de même module ρ par rapport à A), il faut une seconde donnée. Cette donnée nécessaire, on l'appellera *caractéristique* ω ou *orientation*. L'orientation ω de B par rapport à A est donc un élément nécessaire pour différencier B des autres points de même module ρ par rapport à A.

Ces deux notions I et II de *module* (distance) et *caractéristique* (orientation) sont l'une et l'autre nécessaires et, par conséquent, inéluctables (*). D'ailleurs, les grandeurs

---

(*) On voit, par exemple, et il faut dire cela tout de suite pour écarter des objections par argument d'autorité, que c'est une illusion de croire, comme l'ont fait de distingués géomètres, qu'on peut n'admettre, en fait de principes nécessaires, que la distance ρ ou l'intervalle entre deux points, en se donnant en outre, comme élément de référence auquel on rapporte tous les points de l'espace, par leurs distances ρ, un système primitif de quatre points; attendu que les conditions rationnelles et nécessaires d'existence de ce système lui-même impliquent, si par exemple on se donne un premier point, quelque chose d'autre que la distance, qui, dans l'espace dont il fait partie, distingue du premier le deuxième point choisi. On pourrait, en effet, supprimer la considération des troisième et quatrième points, que ce deuxième point ne cesserait pas d'exister, et d'être donc entièrement déterminé par rapport au premier. Ce quelque chose de nécessaire et qu'on ne peut éviter, c'est la caractérisque ω, ou l'orientation du second point par rapport au premier.

La métagéométrie fondée sur la seule notion de l'intervalle affirmée

mathématiques qui serviront de mesure à ces éléments, par le seul fait qu'elles sont des grandeurs, suivront nécessairement, c'est-à-dire sans aucun postulat, la loi primordiale de la grandeur, qui est la continuité. (On voit par là combien il est faux de dire que la continuité de l'espace est un postulat, puisqu'elle existe avant qu'on ait rien demandé, et que ce serait, au contraire, la discontinuité qui serait un postulatum).

5. En partant de ces deux idées nécessaires I, II, les déductions se succèdent naturellement comme il suit. (Nous emploierons généralement, pour abréger et sans nuire à une généralité plus abstraite, les dénominations de la réalisation géométrique extérieure.)

III. Un angle est la mesure d'une différence d'orientation.

IV. La distance de deux points A, B différents a pour

---

suffisante, repose donc dès ses prémisses sur une faute de logique. C'est une des causes qui, avec d'autres que nous avons déjà longuement développées, vicie les conséquences relatives à la conception de l'univers qu'on a cru pouvoir en tirer.

On peut donner à l'exposé des principes d'intervalle et d'orientation une forme plus abstraite en disant : La *différence* ou distinction de deux éléments AB est mesurée par une donnée nécessaire α. Si α est fonction de deux données $\beta'\beta''$, il y aura des B, de même β', différentiés entre eux par les β''; de même les β'' pourront être fonction d'autres données γ, etc. β' et β'' correspondent, dans l'exposé donné dans le texte, à ρ et ω. La forme plus restreinte de cet exposé, maintenue à dessein sur un terrain pratique, n'enlève d'ailleurs rien d'essentiel à la forme purement rationnelle et plus abstraite dont il vient d'être question.

minimum l'infiniment petit absolu de distance (la première à partir de zéro).

L'*orientation* ω de B par rapport à A est la *direction* du système AB.

L'orientation de A par rapport à B, ou la direction de BA, est dite opposée à l'orientation ω ou direction AB.

Une suite de points distants de l'infiniment petit absolu, en nombre fini, et de même direction dans les systèmes AB successifs, constitue un *élément* de *ligne*.

Une *ligne* est une suite *continue* d'éléments de ligne.

V. Une droite est une ligne dont les éléments ont une même direction (on peut donc dire que c'est une suite de points de même orientation, chacun par rapport au précédent).

Une courbe est une ligne dont les éléments varient de direction (une suite de points dont l'orientation varie).

VI. Théorème. *Par deux points* A, B, *on peut faire passer une droite et une seule.*

Le point B est défini par un module ρ et une caractéristique ω.

Or le module ρ s'obtient par l'intégrale

$$\int_0^\rho d\rho = \rho.$$

Mais, d'autre part, si on part de A avec la caractéristique (orientation) ω et que, la conservant, on fasse varier le module (distance) par éléments $d\rho$, chacun des points successifs obtenus aura, par rapport au précédent, l'orientation constante conservée ω (et le module $d\rho$).

On décrira donc ainsi (V) la ligne droite ω, et l'on obtiendra tous les points

$$\left(\omega, \int_0^\rho d\rho = \rho\right).$$

Or le point B ($\rho\omega$) est l'un de ces points. Donc on peut passer de A à B en décrivant une ligne droite; cette droite est la droite ω, et d'ailleurs elle est unique, puisque à chaque ω correspond, et réciproquement, une et une seule droite passant par A, et qu'une droite de caractéristique ω', différente de ω, ne peut donner lieu qu'à des points de caractéristique ω', parmi lesquels ne se trouve pas le point donné B.

Corollaire. Le module de A par rapport à B est égal au module de B par rapport à A.

VII. Quand on fait passer, d'une manière donnée quelconque, une droite AB de AC sur AD, l'angle BAC, d'abord nul, devient DAC; tandis que BAD passe de DAC à zéro. Il y a donc, en vertu de la continuité (§ 4), une droite AC′ pour laquelle on a C′AB = C′AD. On dira que AC′ est une *biangulaire* de DAC. Quand AC et AD sont de directions opposées (IV), c'est-à-dire, d'après la définition de l'opposition des directions, formées des mêmes éléments considérés dans l'ordre inverse de leurs points, et constituant par conséquent une ligne droite unique CAD ou DAC, on dit que AC′ est *perpendiculaire* sur CAD (ou DAC), et que les angles CAC′, DAC′, déjà *égaux* par la définition de la biangulaire, sont *droits*.

VIII. Ayant une droite AN, si l'on considère la collection de toutes les droites AB perpendiculaires à AN, et,

sur chaque AB, la collection de tous les points distants de A d'un nombre fini d'infiniment petits absolus, cette collection s'appelle *élément plan*, et la droite AN la *normale* à l'élément plan.

IX. Le *plan* est une *surface*, ou *collection d'éléments plans*, telle qu'en passant des uns aux autres des points A, par infiniment petits absolus, toutes les normales AN de leurs *éléments plans* ont la même orientation.

Une surface courbe est une surface dont les normales des *éléments plans* varient d'orientation.

X. Théorème. *La droite* AB *entre deux points quelconques d'un plan appartient tout entière à ce plan.*

Soit AA′ un élément de droite dans l'élément plan P_N, de normale AN, appartenant au plan donné. La normale A′N′ de l'élément plan $P_{N'}$ du plan en A′ a, par définition, la même orientation que AN; or AN est perpendiculaire à AA′ et à A′A; donc A′N′ est perpendiculaire à A′A; donc A′A appartient à $P_{N'}$; de même A′N′ est perpendiculaire à A′A″ de même direction que AA′; donc A′A″ appartient à $P_{N'}$; donc AA′A″ appartient au plan. On démontrerait de même, en considérant l'élément plan $P_{N''}$ du plan en A″, que A′A″A‴ (A″A‴ de même direction que A′A″) appartient à $P_{N''}$; et ainsi de suite. Donc la droite de direction AA′ passant par A est tout entière dans le plan. Il en est de même de toutes les droites déterminées par les éléments de droite de l'élément plan en A; et elles constituent la collection de toutes les droites du plan qui passent par A, car il ne peut passer par A, dans le plan, que des droites dont les éléments sont, en A, perpendiculaires à AN.

Ce que l'on vient de démontrer pour le point A est vrai pour tout point du plan. On obtient donc, en passant de proche en proche d'élément plan à élément plan, toute la collection des droites du plan; et l'on obtient en même temps toute la collection des points du plan, lesquels appartiennent à ces droites qu'ils déterminent.

Il en résulte qu'on ne peut passer, dans le plan, d'un point A à un point B du plan que par des modules ρ d'orientations ω normales à l'orientation N du plan; c'est-à-dire par une série de points $A_1 A_2 \ldots A_n \ldots$, pour lesquels on a constamment, à raison de l'identité et de l'indifférence des déplacements successifs par rapport à N et à l'orientation opposée $-N$, $A_n AN = A_n A(-N)$, donc (VII) $A_n AN = 1$ droit; et que, par conséquent, la droite AB, unique dans l'espace, menée par A et B (VI), étant normale à N, est une des droites du plan passant par A contenues tout entières dans le plan. C. Q. F. D.

Corollaire. Le plan est engendré par une droite AB, normale à une direction AN, qui tourne autour de AN; c'est-à-dire que la collection des droites normales AB, prises dans toutes leurs orientations, comprend tous les points du plan. Si, en effet, on considère un point quelconque C du plan, on vient de démontrer que la droite AC de l'espace est une des droites AB.

Le théorème X, étant démontré, permet d'aborder la géométrie plane, c'est-à-dire tout d'abord l'étude des propriétés de la droite dans le plan, puisqu'on sait qu'en joignant deux points du plan, la ligne droite qu'ils déterminent est tracée dans le plan.

6. La notion de direction dont, comme nous avons

commencé par le remarquer, on se sert implicitement dès le début du premier livre pour l'étude des propriétés des angles, donne à la fois à ce début une base et un sens logiques et en simplifie les propositions. La simplification se fait sentir dans des propositions capitales telles que la *somme des trois angles d'un triangle égale à deux droits*, qui s'établit une des premières, et indépendamment du postulatum, comme nous le ferons remarquer plus loin. Pour le moment, c'est l'ordre logique pris dans tout son ensemble qu'il convient d'envisager; et cela nous conduit à établir en tout premier lieu deux points capitaux, savoir : 1° la démonstration du théorème de la parallèle unique, ou du Postulatum d'Euclide; 2° celle du théorème que la droite est la plus courte distance entre deux points.

7. Démonstration du « Postulatum d'Euclide ». — XI. *Deux droites de l'espace de même direction ne se rencontrent pas.* Car si elles se rencontraient, on pourrait par un même point mener deux droites différentes ayant la même direction, ce qui est impossible par définition, la direction définissant la droite.

XII. *Deux droites d'un plan de directions différentes se rencontrent.*

Lemme préliminaire (fig. 1). Quand une droite D d'un plan coupe en un point A un contour fermé (*) C donné,

---

(*) Ce sera ici une suite de points telle qu'en partant de l'un quelconque d'entre eux et passant par tous les autres, on revient au point de départ, sans d'ailleurs avoir d'abord repassé sur aucun autre point.

tracé dans le plan, et a donc une partie AB dans ce contour, D coupe C au moins en un autre point.

La condition : *D coupe le contour C*, signifie qu'il existe des points M M′ de C respectivement dans chacune des deux parties du plan ayant pour limite commune D.

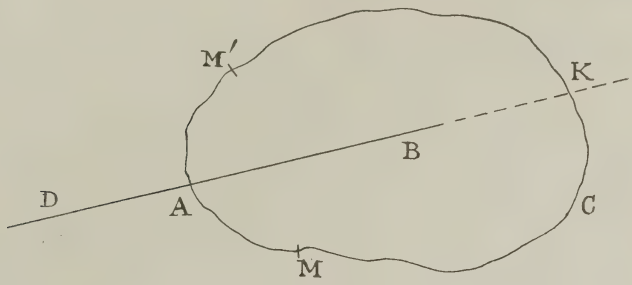


Fig. 1.

Tous les points d'une de ces parties du plan appartiennent à la collection des demi-droites tracées de A dans cette partie du plan (X, corollaire).

On ne peut donc passer de M à M′ en suivant le contour que par des points situés chacun sur une droite passant par A, ce qui revient à suivre un point situé sur une droite tournant autour de A, droite qui se déplace de AM à AM′. Une des positions de cette droite est D ; donc il existe sur D au moins un point K de C. Mais la condition que D ait une partie AB dans C exige que ce point K ne soit pas le point A. Donc D coupe C en un point K différent de A. C. Q. F. D.

Démonstration du théorème. — Soient (fig. 2) DD′ les deux droites du plan de directions différentes. Par un

point F de D menons une droite FF′ de même direction que D ; D et FF′ ne se rencontrent pas (XI) et déterminent une bande β, partie du plan. A partir de F, marquons sur D′ des points équidistants F_1F_2..., et soient $F_1F'_1$, $F_2F'_2$,.. des droites de direction D menées par F_1F_2....

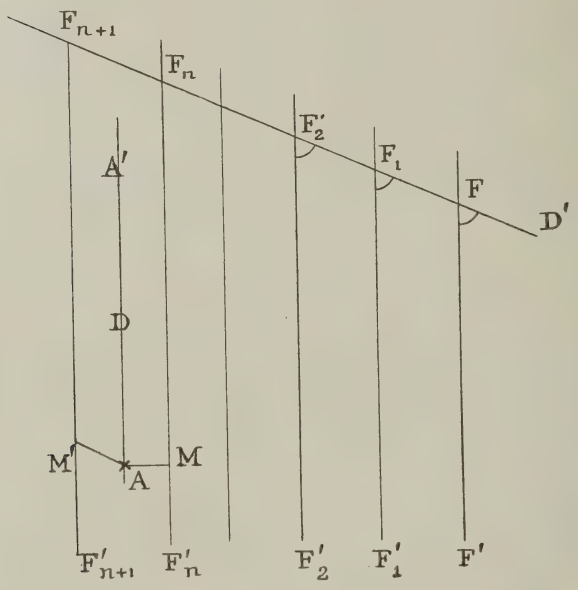


Fig. 2.

Les bandes correspondantes à FF_1, F_1F_2, etc., sont des parties égales du plan, car elles sont superposables, c'est-à-dire que leurs deux droites peuvent coïncider. En portant, par exemple, FF_1 en F_1F_2, FF′ et $F_1F'_1$, $F_1F'_1$ et $F_2F'_2$ coïncident comme ayant même direction, puisque

tous les angles F, F_1, F_2 sont égaux, comme mesurant chacun des différences d'orientation égales. Puisque $F_1F'_1$, FF', D ne se rencontrent pas, la bande FF_1 est une partie de β; donc la bande $(D, F_1F'_1) = \beta_1$ est moindre que β de cette partie FF_1. De même $(D, F_2F_2) = \beta_2$ est moindre que β_1 de cette même partie; et ainsi de suite, la bande $(D, F_nF'_n) = \beta_n$ étant moindre que β de n fois cette même partie.

Or de deux choses l'une : une des droites F_n coïncide avec D, ou aucune ne coïncide.

Dans le premier cas, D rencontre D′ puisque F_n est menée par un point de D′, et le théorème est démontré.

Dans le second cas, il existe une dernière droite $F_nF'_n$ contenue dans β, et la suivante $F_{n+1}F'_{n+1}$ est en dehors de β. En effet, β diminuant par multiples entiers d'une partie constante, il existera un reste $\beta_n <$ cette partie; donc D sera comprise dans une bande F_nF_{n+1}. Il en résulte qu'en joignant un point A de D à deux points M, M′ de $F_nF'_n$, $F_{n+1}F'_{n+1}$, D est une droite coupant en un point A le contour fermé $F_nMAM'F_{n+1}F_n$ et ayant une partie AA′ dans ce contour. Donc, par le Lemme, D coupe le contour en un autre point. Or D ne peut couper AM, AM′ qu'au point A, et ne coupe pas $F_nF'_n$, $F_{n+1}F'_{n+1}$, qui ont la même direction que D. Donc D coupe F_nF_{n+1}, c'est-à-dire la droite D′. C. Q. F. D.

XIII. (Postulatum d'Euclide.) *Par un point* A *d'un plan, on peut mener une parallèle* D′ *à une droite* D *de ce plan, et on n'en peut mener qu'une.*

Car D′, menée par A de même direction que D, est parallèle à D; et toute ligne D″ de direction différente rencontre D. C. Q. F. D.

Observation.— Il suit de là qu'une *parallèle* à une droite menée par un point dans un plan n'est autre chose que la *droite de même direction* passant par ce point.

XIV. *Par un point* A *d'un plan, on peut mener une perpendiculaire à une droite* D *de ce plan, et l'on n'en peut mener qu'une.*

Soit D′ la parallèle à D menée par A, et R la perpendiculaire à D′ passant par A. R rencontre D puisque leurs directions sont différentes, et est perpendiculaire à D puisque D a la même direction que D′.

Toute oblique à D′ rencontre D, et les angles alternes-internes, etc., sont égaux, puisque les parallèles ne sont autre chose que des lignes de même direction ; donc la perpendiculaire est unique.

8. *Démonstration de* « LA DROITE PLUS COURTE DISTANCE » *entre deux points de l'espace.*

XV. THÉORÈME. — *Deux triangles sont égaux quand ils ont : 1° un angle égal compris entre côtés égaux chacun à chacun ; ou 2° un côté égal adjacent à deux angles égaux chacun à chacun.* Démonstration par superposition.

Définition. — Un parallélogramme est un quadrilatère dont les sommets sont les intersections de deux couples de droites parallèles. Les parallèles n'étant que des droites de même direction, les angles opposés du parallélogramme, et de même les angles alternes avec la diagonale, sont égaux. Les côtés opposés sont dès lors égaux par (XV, 2°). Un rectangle est un parallélogramme à angles droits.

XVI. *La surface d'un triangle est la moitié de la surface du rectangle de même base et de même hauteur.* Démonstration (fig. 3) en abaissant du sommet A la perpendiculaire AD sur la base BC; formant le rectangle BB'CC' et décomposant BAC en BAD, DAC, moitiés des rectangles B'D, C'D.

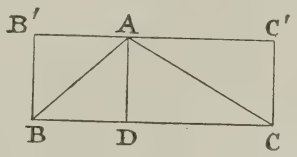


Fig. 3.

XVII. *Le carré formé sur l'hypoténuse d'un triangle rectangle égale la somme des carrés formés sur les deux autres côtés.* (Démonstration habituelle, au moyen des résultats précédents.)

On remarquera que cette propriété s'établit *indépendamment du procédé de mesure de la surface du triangle ou du rectangle par des produits de lignes.* Ce n'est donc qu'ensuite, dans l'ordre logique, que doit venir cette mesure, qui, d'une propriété propre aux surfaces prises telles quelles, va permettre de passer à des relations entre longueurs de lignes.

Mesure de la surface du rectangle et du triangle. — Une fois en possession d'une relation entre des surfaces déterminées par des longueurs de lignes, en évaluant ces surfaces au moyen de ces longueurs on connaîtra une relation entre celles-ci.

Toute longueur étant égale à un nombre entier d'infiniment petits absolus de longueur, et les bases et les

hauteurs de deux rectangles étant dès lors toujours commensurables entre elles, il s'ensuit que rigoureusement (par la division des rectangles en rectangles élémentaires, égaux par superposition) deux rectangles de même base sont entre eux comme leurs hauteurs; de même hauteur, entre eux comme leurs bases; que deux rectangles sont donc entre eux comme les produits de leurs bases par leurs hauteurs ; que la *mesure* d'un rectangle est le produit de sa base par sa hauteur; d'un triangle, la moitié du produit de la base par la hauteur.

La proposition XVII est donc équivalente à celle-ci : *Le carré de l'hypoténuse d'un triangle rectangle est égal à la somme des carrés des deux autres carrés.*

XVIII. *Dans un triangle, un côté est plus petit que la somme des deux autres.*

Démonstration par la décomposition du triangle en triangles rectangles, en abaissant la perpendiculaire d'un sommet sur la base opposée.

XIX. *La ligne droite* AB *est le plus court chemin entre deux points* AB *de l'espace.*

Un contour quelconque tracé de A à B étant une suite d'éléments rectilignes, AM_1, M_1M_2, M_2M_3, ... M_nB, en menant les droites AM_1, AM_2, AM_n, AB, on aura une suite de triangles, qui donneront

$$AB < AM_1 + BM_1$$
$$BM_1 < M_1M_2 + BM_2$$
$$BM_{n-1} < M_{n-1}M_n + BM_n;$$

d'où

$$AB < AM_1 + M_1M_2 + \cdots + M_{n-1}M_n + BM_n. \qquad \text{C. Q. F. D.}$$

Il résulte des déductions précédentes que le « carré de l'hypoténuse » n'est autre chose que la relation primitive et fondamentale entre les *distances*, et doit donc être présenté dès les débuts de l'exposé élémentaire de la géométrie. Des propositions XVIII, XIX se déduisent immédiatement toutes celles qui concernent ou impliquent des inégalités entre longueurs, telles que « l'oblique plus grande que la perpendiculaire (*) », l'égalité des triangles à trois côtés égaux chacun à chacun, etc.

9. Ce qui précède établit que les propriétés de la parallèle unique (postulatum d'Euclide) et de la droite plus courte distance sont des conséquences de la notion primitive et nécessaire de *direction*, aussi inéluctable que celle de *distance*, et dont l'absence de mention explicite, alors qu'en fait on s'en sert dès le début du premier livre des éléments, ce qui à lui seul suffirait à justifier sa réalité et sa portée, est la raison d'être du caractère irrationnel de l'exposé, jusqu'ici classique, de ces éléments.

Si, muni des résultats qu'on vient d'acquérir, on relit cet exposé classique, on verra non seulement beaucoup

---

(*) Il est à remarquer que les relations d'*inégalité* se déduisent ici de la connaissance d'une *relation d'égalité rigoureuse* qui permet de déterminer rigoureusement *tous les cas*. C'est ainsi que *l'oblique < la perpendiculaire* n'est une relation vraie que si l'oblique s'écarte du pied de la perpendiculaire au moins d'une quantité de l'ordre $\sqrt{\varepsilon}$ (ε = inf. pet. absolu). Pour des écartements $n\varepsilon$ (n nombre fini), l'oblique est égale à la perpendiculaire. Cette remarque s'applique d'une manière essentielle dans la question de la tangente au cercle, et dans celle même de la collection des triangles rectangles que l'on obtient quand, étant donné un côté de l'angle droit, on fait varier le second côté.

de propositions se simplifier, mais on en rencontrera qui reçoivent pour la première fois dans la géométrie du plan une démonstration : telle est celle que *par un point donné, hors d'une droite, on peut mener une perpendiculaire sur cette droite, et une seule.*

On constatera aussi que des définitions classiques sont vicieuses et doivent être transformées, telle celle de la parallèle à une droite, qu'on définit, avec Euclide : droite d'un plan qui ne rencontre pas cette autre droite du plan. On a maintenant le droit de restituer à la parallèle la vraie définition que le sens commun lui donne de lui-même, savoir celle de *droite de même direction ;* et elle s'applique alors à la parallèle dans l'espace (conformément à une notion pratique que l'on applique et qu'on appliquera toujours instinctivement), abstraction faite de toute introduction d'un plan.

L'idée d'introduire la considération du plan dans la définition de la parallèle, en passant par l'idée de droites qui ne se rencontrent pas, est à la fois illogique, parce qu'elle renverse l'ordre naturel de la déduction, et inutile et incommode parce que, dans maintes parties fondamentales des éléments, comme, par exemple, dans la définition du parallélogramme, dans la démonstration de la somme des angles d'un triangle égale à deux droits, c'est de la seule notion de direction qu'on a besoin, et c'est la seule que l'esprit y envisage réellement. Quand, pour démontrer ce dernier théorème capital, on mène (fig. 4) par le sommet A d'un triangle une parallèle AA′ à BC, on n'a, en effet, en vue que la *notion de direction*, c'est-à-dire celle de l'égalité des angles alternes internes ; et cette égalité est bien une simple conséquence immédiate de cette notion de direction, notion sur laquelle

on s'était déjà uniquement appuyé, sans le dire, dès les premières propositions du premier livre. On n'a pas du tout à s'occuper ici de l'idée que AA′ *ne rencontre pas* BC; ceci sera une propriété subséquente, se rapportant, non pas aux relations d'angles, lesquels sont formés par des lignes émanant de points donnés, mais bien à une

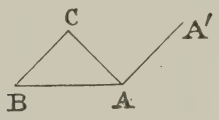


Fig. 4.

question de *rencontre de lignes* menées par des points donnés. C'est donc à la fois une erreur de méthode et une erreur de principe de dire, comme on l'a toujours enseigné, que le postulatum d'Euclide et l'égalité des trois angles d'un triangle à deux droits sont des vérités substituables.

10. Nous croyons les notions de principe et les théorèmes fondamentaux présentés dans cette note nécessaires et suffisants pour écrire, d'après la marche qui vient d'être exposée, et cela en simplifiant d'une manière notable la voie peu logique et contournée qu'on a adoptée depuis si longtemps sous l'influence de l'omission par Euclide de la véritable définition de la ligne droite, un traité élémentaire de géométrie (*).

(*) La définition de la ligne droite par la *direction* permettrait d'ailleurs aussi de restituer maintenant la marche primitive et élégante d'Euclide pour les théorèmes à inégalités; mais il nous semble qu'au point de vue de la rigueur (voir la note du § 9), il vaut mieux passer d'abord par la relation fondamentale des distances qu'exprime le carré de l'hypoténuse.

11. En ce qui concerne la *définition* de cette science et de son objet, l'espace, nécessité à laquelle, en dépit d'une prétention assez singulière de la part des géomètres, elle ne peut pas plus échapper, dans une méthode rationnelle, que toute autre partie de nos connaissances, nous nous sommes abstenu jusqu'ici, par une raison pratique et afin de ne pas susciter inutilement des obstacles, de l'envisager dès l'abord.

Pour suivre une marche progressive dans la régression vers les idées premières, nous pouvons remarquer maintenant qu'un accord de fait existe déjà à cet égard dans les considérations générales qu'on trouve à l'entrée de tous les traités. En substance, ces considérations se ramènent toutes, en effet, à ce qui suit : quand on fait abstraction de toutes les différences de nature des corps, on leur reconnaît, subsistant encore, des propriétés communes (exemples : longueurs égales, volumes égaux, etc.).

L'espace est le tout dont les parties de même espèce sont ce que nous appelons des *volumes*.

La borne ou limite d'un volume est une *surface*.

Une partie de surface est limitée par une *ligne*.

Une partie de ligne a pour limite le *point*.

Un point n'a pas de parties.

La surface, la ligne, le point, aussi bien que le volume, sont contenus dans l'espace.

Si l'on remonte de la dernière notion du point aux précédentes, on définit nécessairement l'espace : une *collection de points*, car ce sont les points qui, en dernière analyse, définissent et déterminent les lignes, les surfaces, les volumes.

En possession de la notion du point, on se retrouve dans la situation initiale des déductions que nous avons

exposées, situation qui est en fait, nous le répétons, celle de tous les traités de géométrie.

La *distinction* des points de l'espace introduit nécessairement la notion de données qui règlent leur distribution, dans cet espace qui constitue leur collection. Les deux éléments qui se présentent nécessairement à cet égard, quand on considère deux points, sont : la distance et l'orientation. Il faut d'ailleurs, comme nous l'avons fait, présenter d'abord ces éléments au point de vue abstrait, c'est-à-dire en dehors de toute figuration.

12. En approfondissant la notion d'espace déduite des observations précédentes, on lui reconnaît deux propriétés, nécessaires aussi et fondamentales, qui sont l'homogénéité et l'infinité; elles résultent : l'une de la condition première de suppression de toute différence spécifique quand on considère deux parties du milieu; l'autre, d'être *élément intégrant* de toutes les parties de ce qui existe, ce qu'on exprime en disant qu'il *contient* tout ou que *tout en fait partie*. Il suffit de formuler l'idée d'un espace hétérogène pour reconnaître, par une sorte d'épreuve, que cette idée est contradictoire à elle-même; en effet, émettre l'idée de cette hétérogénéité c'est présenter celle de différences de nature propres à différentes parties de l'espace, et, par conséquent, celle aussi d'un *ordre de distribution* de ces différences. Or cet ordre de distribution lui-même des différences de nature suppose un espace qui en est indépendant et qui *leur sert de lieu*, c'est-à-dire l'idée de l'espace homogène.

D'autre part, l'espace est infini, car s'il avait des bornes, ces bornes elles-mêmes, en leur qualité de réalités, devraient *faire partie* de l'espace (voir plus haut) [ou

encore exister quelque part (c'est-à-dire en quelque partie de l'espace)] et, par conséquent, il les contiendrait (*). La notion d'homogénéité est d'ailleurs bien d'accord ici avec celle d'infinité, puisque les bornes de l'espace, si elles existaient, devraient exister partout pour qu'il fût homogène, et de ce fait encore il contiendrait partout ses limites, ce qui est contradictoire, c'est-à-dire absurde.

Il est d'ailleurs très utile de remarquer que ces conclusions ne sont ni nouvelles, ni surérogatoires, et cela par la raison fort simple, et de fait, de l'usage implicite que l'on en a toujours fait en géométrie, quoique l'on ne le dise pas, et à tort; la droite, le plan, par exemple, sont homogènes; cela est nécessaire à toutes les propositions qu'on présente et à tous les raisonnements que l'on fait; et c'est parce qu'ils sont homogènes qu'on ne peut pas ne pas les concevoir infinis, et qu'on fait usage effectif de cette infinité pour prolonger, par exemple, une droite « *autant que l'on veut* ».

13. La justesse des notions capitales d'homogénéité et d'infinité peut se prouver aussi par la seule épreuve pratique où l'on proposerait, à ceux qui tenteraient de les nier, de justifier la *possibilité* rationnelle de leur opposition *en formulant une autre définition de l'espace.*

Quand on conclut que l'espace est homogène et infini, c'est parce que l'on ne peut faire autrement, c'est-à-dire parce que la raison n'offre aucune autre idée comme

---

(*) L'exemple du volume, qui a pour limite *sa propre surface,* proposé ici comme objection tomberait à faux, attendu que la surface qui limite un volume ne *fait pas partie* de ce volume.

possible. Or, obéir à cette contrainte de la raison, c'est précisément ce qu'on appelle raisonner. Faire *douter*, ce serait présenter une autre idée également claire et possible.

L'exemple de la métagéométrie est à cet égard fort instructif.

Une illustration remarquable s'en trouve dans la manière de voir de Riemann sur l'infinité de l'espace, rapportée comme suit par M. Mansion (*) : « L'observation, dit en substance ce grand géomètre, nous apprend que l'espace réel est, non pas infini, mais illimité. » On peut imaginer, cependant, que Riemann eût été singulièrement embarrassé si le moindre de ses élèves, quelque peu observateur, l'avait prié de bien vouloir, au même titre que l'*illimité* qu'il définit, s'expliquer sur l'*infini* dont il se sert dans la même phrase mais qu'il ne définit pas. *Illimité* (d'après Riemann) = *ce qui n'a pas d'extrémité, de limite, de borne* (unbegrenzt). Mais on a aussi : *Infini* = *ce qui n'a pas de limite, de borne, point de fin* (unendlich). La remarque, estimée profonde, de Riemann (et qui ne l'est pas plus en allemand qu'en francais, puisque les deux mots y sont, chacun à chacun, adéquats) se réduit donc exactement à ce qui suit : « L'observation nous apprend que l'espace réel est, non pas ce qui n'a pas de limite, de fin, mais bien ce qui n'a pas d'extrémité, de limite. » Elle n'a donc en réalité, telle qu'il la formule, aucun sens. Et pour qu'on ne nous accuse pas de mettre à notre tour en

---

(*) *Pour la géométrie non euclidienne,* Mathesis, 2e sér., t. VIII, p. 33; février 1898.

œuvre des mots, et non des idées, nous préciserons la cause de cette étrange confusion, en la signalant dans les exemples que M. Mansion lui-même propose à l'appui de l'idée de Riemann.

« *Sens du mot illimité ou indéfini.* Dans la définition générale de la droite et du plan », dit M. Mansion (*), « nous employons, avec Riemann, le mot *illimité* ou *indéfini* dans son sens étymologique : *illimité* = *qui n'a pas d'extrémité, de limite ou de borne.* Ainsi, une circonférence, une sphère sont illimitées ou indéfinies, parce qu'on n'y rencontre pas d'extrémité, de limite ou de borne. »

Cette manière de voir nous paraît tout à fait inexacte. Une circonférence, une sphère ne sont nullement, prises en elles-mêmes, des objets illimités, puisqu'ils ont pour limites ou bornes les surfaces ou les volumes qu'elles séparent. Elles sont aussi finies comme longueur de ligne et quantité de surface; et il n'y a donc ici, comme on voudrait le faire croire, aucun divorce entre l'idée du fini et du limité. Aussi, ce que M. Mansion nous semble avoir confondu, c'est la circonférence, la sphère, qui sont limitées et finies, avec *la* LONGUEUR DE LIGNE *qu'on peut tracer en suivant toujours la circonférence ou en se mouvant toujours sur la sphère;* celle-là est *illimitée* puisque sur la circonférence ou la sphère *elle* ne rencontre pas de limite ou de borne (ce n'est pas la circonférence et la sphère elles-mêmes qui n'en rencontrent pas; c'est le *on* de M. Mansion); et elle est, par cette même raison, *infinie.*

(*) *Loc. cit.*, p. 33.

En revenant à l'aphorisme de Riemann sur l'espace, on voit donc ou bien que cet aphorisme, comme on l'a montré plus haut, n'a aucun sens; ou que s'il a un sens, ce sens est une erreur qui n'est autre que celle des exemples de M. Mansion. Il est évidemment plus prudent de supposer que Riemann a commis une erreur qu'un non-sens. Nous dirons donc que l'erreur commune à Riemann et à M. Mansion consiste en ce que, dans la seconde partie de leurs phrases-formules, ils appliquent, sans s'en apercevoir, le terme *illimité ou indéfini* à un autre objet que celui dont il est question dans la première. Ce second objet, c'est longueur de ligne; le premier, c'est, pour Riemann l'*espace*, pour M. Mansion *circonférence* ou *sphère*.

On constate aussi par là que les exemples proposés par M. Mansion étaient aussi mal choisis que possible pour montrer que Riemann pouvait bien considérer l'espace comme *fini*, puisque la circonférence et la sphère le sont; attendu que le caractère fini de la circonférence et de la sphère consiste en ce qu'elles s'obtiennent par l'adjonction d'un nombre fini de grandeurs finies de même espèce, longueurs de ligne ou quantités de surface; tandis qu'en appliquant cette règle à l'espace on voit au contraire qu'il ne résulte de l'adjonction d'aucun nombre fini de grandeurs finies de même espèce, lesquelles sont ici des volumes. Au lieu de sa déclaration de principe, Riemann aurait donc dû, nous semble-t-il, formuler la suivante : L'observation nous apprend que l'espace réel n'est pas fini, c'est-à-dire nous apprend qu'il est infini

ou illimité (ces deux mots exprimant la même chose et l'illimité étant la condition nécessaire et suffisante de l'infini) (*).

Le mal fondé des idées de principe ainsi émises par un des constituants de la métagéométrie légitime certainement la réserve à l'égard de l'édifice entier de cette branche nouvelle. Celle-ci, nous l'avons déjà plusieurs fois remarqué, n'a guère été plus heureuse quand, cédant à la nécessité de donner une définition à son objet, elle a, en quelque sorte malgré elle, donné une définition de l'espace. Il se trouve, en effet, que cette définition n'est, parce qu'elle ne pouvait être différente, mais sans que les métagéomètres semblent s'en être aperçus, autre chose que la définition cartésienne et euclidienne de l'espace comme collection d'éléments (points) à trois indices ou nombres (coordonnées). Cet espace est homogène, puisque les nombres forment une collection homogène, et infini puisque la collection homogène des nom-

---

(*) Que mon honorable confrère me permette de lui demander, dans l'intérêt de cette discussion sur un objet capital, de vouloir bien de son côté définir l'*infini,* puisqu'il définit bien l'*illimité.* Je lui demanderai aussi, en supposant, par exemple, qu'un élève sollicite cet éclaircissement, de définir la signification du mot *espace* dans l'énoncé, nécessaire à la « géométrie euclidienne » : « Deux droites ne peuvent enclore un espace » (s'il le fait, il constatera qu'il sera encore une fois ramené à l'espace = collection de points); de même celui du mot « suffisamment » dans la définition : « La droite est une ligne illimitée ou indéfinie homogène déterminée par deux de ses points *suffisamment* rapprochés. » Si M. Mansion fait de la physique, tout ceci est, à la rigueur, admissible; s'il fait de la géométrie, ce n'est pas assez.

bres est infinie. Il est en outre euclidien puisqu'il possède la ligne droite d'Euclide, avec la propriété du postulatum, etc.

14. La définition mathématique de l'espace, cette définition unique tant de Descartes, ce véritable fondateur de la théorie de la géométrie, que des métagéomètres modernes eux-mêmes, nous conduit à terminer par une dernière considération, qui n'est d'ailleurs qu'un approfondissement logique de cette définition.

Cette définition, comme nous l'avons constaté dès l'abord, dérive simplement de la constatation de fait que l'existence du monde extérieur (des corps) dépend de lois indépendantes de toutes les DIFFÉRENCES SPÉCIFIQUES qui s'y rencontrent ; on appelle *espace* l'objet, commun à tous les corps et reconnu nécessaire à leur existence, auquel ces lois sont propres. Or cette notion précisée se confond en fait avec la suivante, qui en est une conséquence : *l'espace est une réalisation des lois de la* GRANDEUR ABSTRAITE. La théorie de l'espace n'est donc autre chose, d'après cela, que la théorie de la grandeur abstraite; et la géométrie, si l'on peut le dire, une sensibilisation de la mathématique.

Nous développons dans un autre travail cette idée, capitale par ses conséquences dans tous les ordres de nos connaissances, en montrant que le nombre *trois* des dimensions de l'espace est lui-même le signe particulier et caractéristique de cette concordance.

Telle est, à notre sens, la véritable définition de l'espace et de la géométrie. De cette définition unique les lois

géométriques découlent dès lors avec une certitude qui n'est autre que la certitude même des mathématiques ; ce qui explique du même coup le caractère d'évidence irrésistible attribué par le sens commun à la conception de l'espace et à ses propriétés.

Il est évident que si l'on établit que les lois de l'espace sont une reproduction intégrale de celles de la grandeur abstraite, on aura par cela même, puisque ces lois sont uniques et qu'il n'existe pas deux mathématiques, établi l'existence possible d'un seul espace et d'une seule géométrie, et réduit à néant, en en donnant la mesure, les tentatives, déjà destructives d'elles-mêmes, faites depuis environ un siècle pour tâcher d'ébranler cette vérité primordiale.

Mais d'ailleurs l'objet de cette note, qui tendait au même but, l'assure déjà en partie d'une manière pratique; elle attire l'attention compétente de tous, à titre de question de fait, sur une faute de méthode et de logique de l'exposé classique de la géométrie, consistant dans l'absence d'énoncé d'une notion, celle d'orientation ou de direction, dont cette géométrie classique fait, sans le savoir, implicitement usage, et qui constitue une des données fondamentales des lois de la grandeur abstraite. Cette notion de *direction*, il convient donc de la restituer explicitement dans l'enseignement; non seulement par sa force propre elle ne laissera plus de lieu aux variations de la métagéométrie, mais elle-même ne trouvera de place que dans la définition générale et seule vraie de l'espace que nous avons mentionnée en terminant.

—

Sur la raison pour laquelle le nombre des dimensions de l'Espace est le nombre 3 (L'Espace est la réalisation des lois de la grandeur abstraite); par Ch. Lagrange, membre de l'Académie.

« Les choses invisibles de Dieu, savoir tant sa puissance éternelle que sa divinité, se voient comme à l'œil..., étant considérées dans ses ouvrages. » (Rom., I, 20.)

1. Dans un travail publié il y a plusieurs années (*), j'ai opposé à une thèse toute moderne concernant l'existence possible de plusieurs espaces, et partant de plusieurs géométries, une objection à laquelle on n'a jusqu'ici rien pu répondre, parce qu'en effet elle ne fait rien moins que mettre en évidence une erreur de principe, à mon sens radicale, sur laquelle cette thèse repose, celle qui a fait inconsciemment confondre la science de l'espace ou la géométrie avec la science de la ligne droite. Cette objection consistait tout simplement à constater que ses défenseurs eux-mêmes n'avaient jamais pu donner de l'espace que la définition qui est celle de l'espace euclidien, et qu'ainsi les trois prétendues « géométries » distinctes et possibles de Lobatchefsky, d'Euclide et de Riemann, lesquelles ne sont que la théorie d'une famille de lignes dont fait partie la ligne droite euclidienne, existent simultanément dans un

(*) *Pour la géométrie euclidienne.* (Bull. de l'Acad. roy. de Belgique [Classe des sciences], n° 7 [juillet], 1899.)

unique espace, qui est et ne peut être que l'espace classique euclidien.

Je faisais remarquer que le moyen nécessaire pour introduire le doute, en science, à l'égard de la nature d'un objet, consiste à présenter plusieurs définitions possibles de cet objet; que la métagéométrie, en sa qualité même de science géométrique, c'est-à-dire rigoureuse, échappait moins qu'une autre à cette nécessité rationnelle; et j'invitais donc les géomètres, partisans de ces spéculations, à formuler au moins une nouvelle définition de l'espace. Jusque-là, disais-je, non seulement, puisque l'unique définition qu'ils ont pu présenter, celle du sens commun, est celle de l'espace euclidien, ils ne sont pas parvenus à jeter le moindre doute sur la vérité de la géométrie classique, mais le caractère extraordinaire de la confusion qu'ils ont commise, rendu plus criant encore par la sévérité de leurs appréciations sur les géomètres attardés dans cette vérité, n'a fait qu'affermir davantage celle-ci dans les esprits observateurs, ainsi que ferait une expérience externe forte de l'autorité incontestée de ceux qui l'exécutent.

Je viens, d'autre part (*), de signaler, dans les déductions de la géométrie classique élémentaire, l'usage implicite, et par cela même prouvé nécessaire, d'une notion, celle d'orientation ou de direction, qui, mentionnée explicitement (tout en mettant d'une autre manière encore en évidence l'erreur de principe de l'hypothèse métagéométrique), fait apparaître l'ordre très irrationnel

---

(*) *La droite plus courte distance et le carré de l'hypoténuse, etc.;* (même BULLETIN).

suivi dans notre géométrie classique (et en partie dans celle d'Euclide lui-même) (*); car elle s'y présente comme constituant le vrai principe de la définition de la ligne droite, et prouve que la définition de celle-ci, en tant que plus courte distance entre deux points, loin d'y être une définition, devient un théorème (**); il en est de même de la propriété connue sous le nom de *Postulatum d'Euclide*, laquelle, à son tour, n'est pas un axiome mais bien un théorème.

Le terrain ayant ainsi été déblayé et préparé, il ne restait plus, comme on l'a déjà dit dans ce dernier travail, qu'à atteindre, en approfondissant la notion unique d'espace, une définition correcte et complète, définition qui doit donner à la géométrie une portée égale à sa certitude. Cette définition a été annoncée : elle consiste à dire que *l'espace est une réalisation des lois de la grandeur abstraite*. C'est de cette définition que nous nous proposons d'établir le bien fondé dans la note actuelle, qui forme la suite rationnelle de nos communications antérieures.

2. L'établissement de ce grand objet suppose tout d'abord celui du système des lois de la grandeur abstraite; la comparaison de ce système avec les données de l'espace constituera ensuite la démonstration qu'on cherche. D'ailleurs, cette étude des lois abstraites de la grandeur, tout imposante qu'elle soit par sa nature, est d'un abord

---

(*) Voir *loc. cit.*, § 2, note.

(**) La déduction géométrique est dès lors d'accord avec la déduction analytique du calcul des variations, sans quoi celui-ci, qui s'appuie initialement sur le carré de l'hypoténuse, ne ferait qu'un cercle vicieux quand il démontre que la droite est le plus court chemin.

beaucoup moins difficile qu'à première vue il pourrait le sembler. Car, consciemment ou non, l'essai systématique en a déjà été fait par tous les auteurs qui ont traité des mathématiques élémentaires. Il n'est pas de traité d'arithmétique ou d'algèbre qui, nécessairement, ne débute par là (*). Il ne s'agit donc pas ici de renverser,

---

(*) C'est pour moi un devoir de rappeler, à l'égard de cette question des lois générales de la grandeur, le nom de Wronski (le lecteur trouvera l'exposé de son système dans l'*Encyclopédie mathématique* de Montferrier (4 vol. in-8° [voir le t. I]; Paris, Amyot), dont les idées m'ont beaucoup occupé, il y a environ vingt ans (voir notamment *Démonstration de la loi suprême de Wronski* [MÉM. DE L'ACAD. ROY. DE BELGIQUE, t. XLVII, 1884]). C'est en même temps pour moi une occasion de rappeler la mémoire de mon regretté professeur Charbo, en 1870-1871 lieutenant du génie chargé du cours d'analyse à l'École militaire, à qui j'ai dû à cette époque la connaissance des travaux de Wronski et la notion de leur portée. Wronski donne aux trois opérations fondamentales $a + b$, $a \times b$, a^b, les noms de sommation, numération, graduation. Comme on le verra, l'ordre naturel des déductions, tel que je les présente moi-même, modifie celui de la dépendance qu'il propose entre ces trois formules; il fait en outre dériver la notion du nombre entier de celle du temps, ce qui renverse aussi l'ordre rationnel. D'autre part, la notion de l'infiniment petit absolu (malheureusement inaperçue de Wronski, qui fait de l'infiniment petit un zéro, en écrivant $A + \varepsilon = A$, ce qui le conduit plus tard à égaler des grandeurs finies à des séries divergentes et lui masque l'idée fondamentale qu'il n'existe que des relations entre nombres entiers) vient imposer une forme entièrement nouvelle à l'édifice algorithmique; on doit en dire autant de l'idée des *opérations impossibles* (qui nous conduira plus loin à celle des *dimensions* dans l'application à l'*espace*), base de la thèse nouvelle qui définit ce travail, c'est-à-dire de l'idée que *l'espace est une réalisation des lois de la grandeur abstraite*. Le lecteur voudra donc bien ne pas nous attribuer, sans un examen réfléchi, et une comparaison qu'il lui est

mais seulement de mettre dans un meilleur ordre, en le précisant, ce qui, en fait, existe déjà. La notion qui d'ailleurs, ici comme dans d'autres parties de l'analyse déjà envisagées par nous, met les idées au point et leur acquiert la clarté, est celle du moindre état de la grandeur ou de l'infiniment petit absolu.

Nous donnerons le plus brièvement possible la suite des déductions. On y apercevra aisément les points où elles s'écartent, mais seulement au fond pour les préciser, des données de l'enseignement classique.

3. I. On appelle grandeur ou quantité ce qui est susceptible d'augmentation ou de diminution *sans changer de nature.*

---

aisé de faire au moyen de l'ouvrage de Montferrier, des erreurs de principe que nous connaissons.

Mais ce qui est certain, et ce qu'il faut ouvertement déclarer, en présence des critiques peu mesurées, et surtout peu clairvoyantes, dont l'œuvre de Wronski a été l'objet, c'est qu'au cours du siècle qui vient de finir, son nom dans les mathématiques (comme celui de Brück dans la conception générale du monde physique et la *loi de l'histoire*) restera celui du génial initiateur d'un ordre nouveau, celui qui réintroduira dans cette science la notion nécessaire de l'infini et de l'infiniment petit, et leur considération directe. Les errements actuels, non seulement par le vague mais par les erreurs radicales auxquelles ils aboutissent en rejetant cette considération (nous l'avons surabondamment prouvé tout récemment par des problèmes concrets), sont en réalité fort mal qualifiés pour relever l'erreur, ou l'imprécision, dans un essai, datant déjà d'un siècle, mais beaucoup plus juste qu'eux-mêmes dans sa tendance et sa direction, essai sur lequel, par notre travail même, et par ce que nous lui devons, nous rappelons de nouveau aujourd'hui l'attention de ceux qui cherchent.

Il s'ensuit que *zéro* (qui exprime la non-existence de la grandeur) n'est pas un état de la grandeur ou une grandeur; il ne peut en effet être augmenté que par l'adjonction d'une grandeur existante, c'est-à-dire de nature différente.

II. L'infiniment petit absolu ε est le minimum de la grandeur. (C'est la première grandeur à partir de zéro; le moindre accroissement ou décroissement d'une grandeur; la moindre différence entre deux grandeurs distinctes.)

III. L'infiniment petit absolu ε n'a pas de parties; c'est un *indivisible;* car s'il avait une partie, il existerait un état de la grandeur moindre que lui, et par conséquent il ne serait pas le premier.

IV. Toutes les grandeurs sont donc formées par l'adjonction de ε à lui-même. ε étant la moindre grandeur, la suivante est formée par l'adjonction de ε à ε; la suivante par une nouvelle adjonction de ε; et ainsi de suite. Ces grandeurs nécessairement existantes sont dites double, triple, etc., de ε. On dit que la première contient 1 fois ε; la deuxième 2 fois; etc. 1, 2, 3, ... sont appelés *nombres entiers.* Ce sont les signes représentatifs de la comparaison des grandeurs nécessairement formées d'indivisibles ε, à ε lui-même.

V. Toute grandeur contient donc un nombre entier N d'infiniment petits ε et sera désignée par $N\varepsilon$. Toutes les grandeurs existantes de même espèce sont donc commensurables entre elles, c'est-à-dire ont une même partie contenue dans chacune d'elles un nombre entier de fois,

puisqu'elles contiennent toutes un nombre entier d'ε.

Il n'*existe* donc pas de grandeurs incommensurables.

VI. On appelle en général *nombre* ou *rapport* le résultat, indépendant de leur espèce commune, de la comparaison de deux grandeurs.

L'*unité* est une grandeur prise pour terme de comparaison et à laquelle on compare les autres grandeurs. En désignant l'unité par $N_0\varepsilon$ (N_0 étant le nombre entier d'ε qu'elle contient), le nombre qui exprime la comparaison d'une grandeur $N\varepsilon$ à l'unité est désigné par $\frac{N}{N_0}$. Le rapport de deux grandeurs est donc toujours celui de deux nombres entiers.

On voit que la notion des *nombres entiers* elle-même n'est qu'une application de la notion générale de *nombre*.

Le nombre est, pris en lui-même, une grandeur d'espèce particulière.

En précisant la notion de comparaison, on voit que le *nombre* qui exprime une grandeur $N\varepsilon$ est la mesure dans laquelle il faut amplifier ou réduire l'unité $N_0\varepsilon$ pour obtenir $N\varepsilon$. Les rapports à l'unité $N_0\varepsilon$ de grandeurs égales à l'unité, doubles, triples, etc., de l'unité, sont les nombres entiers.

Observation. Il faut appuyer sur ce que l'idée du nombre ou rapport est une notion distincte de celle de grandeur. Elle n'intervient, en effet, que lorsqu'on a conçu l'existence des grandeurs, et que l'on songe ensuite à *comparer* deux grandeurs.

Elle est d'ailleurs bien distincte de ce que l'on appelle : comparaison, ou, comme on le dit aussi, rapport *par différence*. On peut procéder par différences succes-

sives pour *évaluer* le rapport ou nombre entre deux grandeurs, mais ce n'est là qu'un procédé de mesure technique. Le nombre implique l'idée nouvelle de la *mesure d'amplification* d'une grandeur pour en avoir une autre; il est d'une autre nature que la grandeur elle-même, tandis que la différence est de même nature, et cela seul prouve que l'idée du nombre est nouvelle et distincte.

VII. En possession de ces deux premières notions, — la génération des grandeurs par l'infiniment petit absolu, le *nombre* ou rapport, mesure du résultat de la comparaison de deux grandeurs, — envisageons les opérations par lesquelles, étant donnée une grandeur, on peut construire d'autres grandeurs.

1° *Addition* et *soustraction*. Il faut partir du mode primordial de génération de la grandeur, que nous venons de rappeler.

D'après ce mode, une grandeur A est modifiée par l'adjonction ou *addition :* soit *a*) de grandeurs quelconques A′ différentes; soit *b*) de A elle-même.

Le retranchement constitue la *soustraction*.

Le résultat s'appelle somme ou différence. Dans le cas *b*) l'adjonction de n grandeurs A donne la somme nA, c'est-à-dire *A amplifié dans le rapport* $\frac{n}{1}$. La notion nouvelle du nombre n des opérations n'est autre chose qu'une forme de l'idée d'amplification qui va suivre; cette notion généralisée amène d'une manière nécessaire un deuxième mode : la multiplication.

2° *Multiplication* et *division*. On dit que A est multiplié par B, quand A est amplifié dans le rapport $\frac{B}{I_0} = \frac{N'}{N_0}$ de $B = N'\varepsilon$ à la grandeur unité $I_0 = N_0\varepsilon$.

D'après ce mode, A est modifiée par la multiplication : soit *a*) de grandeurs quelconques A′ différentes; soit *b*) de A elle-même.

L'amplification de A dans le rapport $\frac{I_0}{B} = \frac{N_0}{N'}$ de l'unité à B constitue la *division* de A par B.

Le résultat s'appelle produit ou quotient.

Dans le cas *b*), la multiplication de *n* facteurs A donne le produit A^n, c'est-à-dire A AMPLIFIÉ PAR LUI-MÊME *dans le rapport* $\frac{n}{1}$, et cette idée généralisée amène d'une manière nécessaire un troisième mode : l'élévation aux puissances.

3° *Puissances* et *racines*. On dit que A est élevé à la puissance B quand A est amplifié par lui-même dans le rapport $\frac{B}{I_0} = \frac{N'}{N_0}$ de $B = N'\varepsilon$ à $I_0 = N_0\varepsilon$ (ce qui veut dire que, si $A^{\frac{1}{N_0}}$ est la grandeur qui élevée à la puissance N_0 donne A, A^B est $A^{\frac{1}{N_0}}$ élevé à la puissance N′).

D'après ce mode, A est modifiée par l'élévation : soit *a*) à une puissance quelconque A′ différente ; soit *b*) à la puissance A elle-même.

L'amplification de A par lui-même dans le rapport $\frac{I_0}{B} = \frac{N_0}{N'}$ de l'unité à B, constitue la racine B de A.

Le résultat s'appelle puissance ou racine. Dans le cas *b*) l'élévation à la puissance A, *n* fois, donnerait la puissance A^{A^n} ; mais cette continuation de la déduction rationnelle et nécessaire, ne donne plus lieu ici à l'introduction d'une idée nécessaire nouvelle ; car si l'on remplaçait maintenant le rapport $\frac{n}{1}$ par un rapport quelconque $\frac{B}{I_0} = \frac{N'}{N_0}$, en posant $A = N\varepsilon$, A^{A^n} deviendrait $A\left(\frac{N}{N_0}\right)^{\frac{N'}{N}}$, c'est-à-dire A amplifié par lui-même dans le

rapport $\left(\frac{N}{N_0}\right)^{\frac{N'}{N_0}}$, ce qui n'est encore toujours qu'une élévation à une puissance.

VIII. En résumé, il y a donc trois opérations distinctes effectuées sur une grandeur A par une grandeur B et donnant la grandeur C; elles sont représentées par le schéma suivant :

(O_1)	$A + B = C$	(Addition et soustraction.)
(O_2)	$A \times B = C$	(Multiplication et division.)
(O_3)	$A^B = C$	(Puissances et racines.)

(O_3) se distingue de (O_1) et (O_2) en ce que les opérations (O_1) (O_2) sont *réversibles*, c'est-à-dire donnent le même résultat C quand on échange entre eux A et B; tandis que (O_3) n'est à cet égard pas *réversible*.

(O_3) scelle d'ailleurs le caractère complet de la triade par une autre propriété, qui constitue un lien entre (O_1) et (O_2). Si l'on a par (O_3),

$$A^{B'} = C'$$
$$A^{B''} = C'',$$

on a

$$A^{(B'+B'')} = (C' \times C'') \quad \text{ou} \quad A^{[O_1]} = [O_2],$$

c'est-à-dire que, dans la relation (O_3), (O_1) opéré sur B correspond à (O_2) opéré sur C.

IX. *Les problèmes fondamentaux.* Chacune des opérations (O_1) (O_2) (O_3) donne lieu à trois problèmes, savoir :

a) Étant donnés A et B, trouver C.
b) Étant donnés A et C, trouver B.
c) Étant donnés B et C, trouver A.

Pour (O_1) les trois problèmes se résolvent par la seule idée *addition et soustraction,* à laquelle ils se réduisent. Pour (O_2), par la seule idée *multiplication et division.* Mais pour (O_3), à cause de la non-réversibilité entre A et B, il y a une distinction remarquable : *a*) et *c*) se résolvent par la seule idée *puissances et racines;* mais l'intermédiaire *b*), non réversible avec *c*), et qui consiste, au moyen de (O_3), à réduire (O_2) à la génération primordiale de la grandeur (O_1), constitue un problème de solution entièrement distincte de celle-là. Pour A donné, B s'appelle le logarithme de C.

Ainsi tout d'abord les trois *opérations* (O_1) (O_2) (O_3), chacune à deux *procédés inverses* (addition-soustraction), (multiplication-division), (puissances-racines), présentent chacune isolément un unique *principe de résolution*, propre et applicable à la nature double de son procédé; et, cela reconnu, le caractère unique de *non-réversibilité* de (O_3) donne lieu à un principe distinct de résolution, qui embrasse et relie, en revenant de (O_2) à (O_1) par l'intermédiaire de (O_3), les trois opérations.

Ce principe consiste à ramener par l'introduction de la notion d'infiniment petit absolu, base de la forme (O_1) (*), dans la forme (O_3), cette dernière à la forme (O_2).

(*) La notion de l'infiniment petit absolu, en permettant d'écrire des relations linéaires rigoureuses entre les accroissements (c'est-à-dire des systèmes d'équations du premier degré qu'on sait toujours résoudre), est le vrai principe de solution de tous les problèmes mathématiques; c'est-à-dire que la notion d'intégration (somme), qui n'est autre que l'opération primordiale (O_1) et qui n'apparaît que dans les mathématiques supérieures, est en réalité la vraie base des mathéma-

Il repose sur le fait que, de même que l'on peut prendre l'entier m tel que

$$A \times \frac{1}{m} = n\varepsilon,$$

---

tiques élémentaires. Tel est par exemple le cas de la résolution des équations en algèbre. L'équation

$$(1) \qquad x^m + A_1 x^{m-1} + A_2 x^{m-2} + \cdots + A_{m-1} x + A_m = 0,$$

en introduisant le facteur a, qu'on fera ensuite $a = 1$, et qui permet d'envisager en une fois les variations de $A_1, A_2 \ldots A_{m-1}$, s'écrit :

$$(2) \qquad x^m + a(A_1 x^{m-1} + A_2 x^{m-2} + \cdots + A_{m-1} x) + A_m = 0.$$

Pour $a = 0$, on a pour x les m *racines*

$$(3) \qquad x_0 = \sqrt[m]{-A_m},$$

et ensuite, en partant de chacune des x_0, les m racines de (1)

$$(4) \qquad x = x_0 + \int_0^1 \frac{dx}{da} da$$

(la considération des infiniment petits dans la *somme*

$$\int_0^1 \frac{dx}{da} da$$

permettant seule d'éviter les erreurs auxquelles conduirait la fausse notion du zéro de la limite dans le *passage* CONTINU *des grandeurs réelles aux imaginaires,* comme je le ferai voir dans un autre travail). Dans la somme $\int_0^1$ tous les x successifs et tous les termes sont connus de proche en proche par les accroissements successifs tirés de (2).

n étant un entier fini, on peut prendre m tel que

$$A^{\frac{1}{m}} = 1 + n\varepsilon,$$

On a (sans envisager déjà ici la forme $\rho e^{\theta\sqrt{-1}}$ des grandeurs complexes)

$$dx = -\frac{A_1 x^{m-1} + A_2 x^{m-2} + \cdots + A_{m-1} x}{m x^{m-1} + a[(m-1)A_1 x^{m-2} + (m-2)A_2 x^{m-3} + \cdots + A_{m-1}]}\, da$$

$$= -\frac{A_1}{m}\, da - \frac{\left[A_2 - a\frac{A_1^2}{m}(m-1)\right] x^{m-2} + \cdots - A_{m-1}\frac{A_1}{m} a}{m x^{m-1} + a[(m-1)A_1 x^{m-2} + \cdots + A_{m-1}]}\, da,$$

ou

$$dx = -\frac{A_1}{m}\, da + dx_1,$$

et

$$(5) \qquad x = x_0 - \int_0^1 \frac{A_1}{m}\, da + \int_{a=0}^{a=1} dx_1,$$

$$(6) \qquad x = x_0 - \frac{A_1}{m} + \int_0^1 dx_1.$$

Cette forme est remarquable en ce qu'elle assigne, par l'intégrale

$$\int_0^1 \frac{A_1}{m}\, da,$$

un sens et une raison d'être théorique, en le mettant ainsi d'elle-même en évidence, au terme $-\frac{A_1}{m}$ ($-\frac{p}{2}$ de l'équation du second degré), qui permet, comme on le sait, en posant

$$x = z - \frac{A_1}{m},$$

de faire disparaître de (1) le terme en x^{m-1}.

ε étant additif ou soustractif; c'est-à-dire tel que $(1 + n\varepsilon)^m = A$. (O_3) prend alors la forme

$$A^{\frac{1}{m}B} = C^{\frac{1}{m}},$$

ou

$$\left[1 + \left(A^{\frac{1}{m}} - 1\right)\right]^B = C^{\frac{1}{m}};$$

ou, puisque la grandeur du second ordre

$$\left(A^{\frac{1}{m}} - 1\right)^2 = \left(n\varepsilon\right)^2 = n^2\varepsilon\frac{\varepsilon}{1}$$

n'*existe pas*, quand n est fini,

$$B\left(A^{\frac{1}{m}} - 1\right) = C^{\frac{1}{m}} - 1.$$

Cette forme est comprise dans le schéma (O_2) et donne

Les formes (4) ou (6) constituent bien la résolution complète de l'équation du m^e degré (1). Elles renferment les expressions techniques connues pour les premières valeurs de m. Il faut faire $da = \frac{1}{n}$; x est par (4) ou (6) une fonction entièremenl définie de n, et correspond à $n =$ infiniment grand absolu E (E est défini par la condition : $E \times K$, pour $K > 1$, *n'existe pas;* de même que ε par la condition : $\varepsilon \times K$, pour $K < 1$, *n'existe pas*). C'est la seule tendance irrationnelle à la figuration, ce n'est point la raison, qui pourrait porter à regarder la première de ces deux idées comme plus difficile à admettre que la seconde. (Cela *paraît* d'abord, parce que l'infiniment grand nous semble mieux se prêter à la figuration que l'infiniment petit, où nos yeux se perdent; mais la réflexion ne laisse rien subsister de tout cela.)

pour l'expression de B (ou du logarithme de C dans la base A),

$$(O'_5)\ B = \frac{C^{\frac{1}{m}} - 1}{A^{\frac{1}{m}} - 1} = \frac{m\left(C^{\frac{1}{m}} - 1\right)}{m\left(A^{\frac{1}{m}} - 1\right)}.$$

Remarque. — 1° Si l'on a

$$A^B = C$$
$$A^{B'} = C',$$

d'où

$$A^{B+B'} = C \times C',$$

il viendra, par la formule précédente,

$$B + B' = \frac{(CC')^{\frac{1}{m}} - 1}{A^{\frac{1}{m}} - 1} = \frac{m\left[(CC')^{\frac{1}{m}} - 1\right]}{A^{\frac{1}{m}} - 1};$$

car

$$(CC')^{\frac{1}{m}} = \left[1 + \left(C^{\frac{1}{m}} - 1\right)\right]\left[1 + \left(C'^{\frac{1}{m}} - 1\right)\right]$$
$$= 1 + \left(C^{\frac{1}{m}} - 1\right) + \left(C'^{\frac{1}{m}} - 1\right).$$

En effet, comme on a

$$C^{\frac{1}{m}} - 1 = n_1\varepsilon,$$

$$C'^{\frac{1}{m}} - 1 = n_2\varepsilon,$$

$n_1 n_2$ étant finis, le produit

$$\left(C^{\frac{1}{m}} - 1\right)\left(C'^{\frac{1}{m}} - 1\right) = \varepsilon \times \frac{n_1 n_2 \varepsilon}{1}$$

n'existe pas.

On a donc bien

$$B + B' = \log C + \log C' = \frac{m\left[\left(C^{\frac{1}{m}} - 1\right) + \left(C'^{\frac{1}{m}} - 1\right)\right]}{m\left(A^{\frac{1}{m}} - 1\right)}$$

$$= \frac{m\left[(CC')^{\frac{1}{m}} - 1\right]}{m\left(A^{\frac{1}{m}} - 1\right)} = \log CC',$$

propriété fondamentale des logarithmes.

2° Il existe une base A unique pour laquelle la mention explicite de la base disparaît de la formule (O'_3); c'est celle qui fait disparaître la mention explicite du dénominateur, et qui donne B en fonction théorique de C seulement, sous la forme

$$B = m\left(C^{\frac{1}{m}} - 1\right).$$

La base cherchée est donc donnée par

$$m\left(A^{\frac{1}{m}} - 1\right) = 1;$$

d'où, en la désignant par e,

$$A = e = \left(1 + \frac{1}{m}\right)^m;$$

expression *théorique* où

$$m = \frac{1}{n\varepsilon},$$

n étant un entier fini, et qui a pour *évaluation technique*

$$e = 1 + 1 + \frac{1}{1.2} + \frac{1}{1.2.3} + \cdots,$$

soit

$$e = 2{,}7182818\ldots$$

On appelle e la base des logarithmes naturels. Cette expression se justifie par le fait que, dans la formule théorique (O'_3) de l'expression d'un logarithme, cette base particulière ne figure pas explicitement, et que le logarithme B y est seulement fonction du nombre C.

X. Ceci considéré, il faut analyser de plus près les opérations (O_1) (O_2) (O_3) en y introduisant, conformément à la génération primitive de la grandeur, l'expression des grandeurs en fonction de leur commune mesure qui est l'infiniment petit absolu ε, et montrer que ces opérations consistent toutes en des opérations sur des nombres entiers.

Pour (O_1), en posant

$$A = N\varepsilon$$
$$B = N'\varepsilon$$
$$C = N''\varepsilon,$$

tous les N étant des entiers, on aura, pour l'addition,

$$N\varepsilon + N'\varepsilon = N''\varepsilon,$$

c'est-à-dire

$$N + N' = N'';$$

pour la soustraction,

$$N - N' = N''.$$

Quand l'opération est *possible* (elle l'est toujours, sauf pour la soustraction quand $N' < N$), elle est toujours *effective*, c'est-à-dire *donne un résultat désignable.*

Pour (O_2), en désignant par $I_0 = N_0\varepsilon$ la grandeur unité, on aura : pour la multiplication $A \times B = C$,

$$N\varepsilon \times \frac{N'\varepsilon}{N_0\varepsilon} = N''\varepsilon,$$

ou

$$N \times \frac{N'}{N_0} = N'', \qquad NN' = N_0N''.$$

Cela revient à chercher un entier N'' qui, multiplié par N_0, donne NN'. L'opération n'est donc pas toujours effective. Il y a des grandeurs qui n'ont pas de produit. L'opération est toujours effective quand ε est l'unité de grandeur; car on a alors $N'' = NN'$.

Pour la division, on a

$$N\varepsilon \times \frac{N_0\varepsilon}{N'\varepsilon} = N''\varepsilon,$$

ou

$$NN_0 = N'N''.$$

On cherche un entier N'' qui, multiplié par N', donne NN_0. L'opération n'est pas toujours effective; il y a des grandeurs qui n'ont pas de quotient.

Pour (O_3), on aura, pour l'élévation à une puissance,

$$(N\varepsilon)^{\frac{N'\varepsilon}{N_0\varepsilon}} = N''\varepsilon,$$

c'est-à-dire

$$(N\varepsilon)^{N'} = (N''\varepsilon)^{N_0},$$

ou

$$N\varepsilon \underbrace{\frac{N\varepsilon}{N_0\varepsilon} \cdot \frac{N\varepsilon}{N_0\varepsilon} \cdots \frac{N\varepsilon}{N_0\varepsilon}}_{N'-1} = N''\varepsilon \underbrace{\frac{N''\varepsilon}{N_0\varepsilon} \cdot \frac{N''\varepsilon}{N_0\varepsilon} \cdots \frac{N''\varepsilon}{N_0\varepsilon}}_{N_0-1};$$

d'où

$$N^{N'}N_0^{N_0} = N''^{N_0}N_0^{N'}.$$

On cherche un entier N'' satisfaisant à cette condition. L'opération n'est pas toujours effective. Il y a des grandeurs qui n'ont pas certaines puissances. Pour l'unité égale à ε, l'opération est toujours effective.

Pour l'extraction d'une racine on a

$$(N\varepsilon)^{\frac{N_0\varepsilon}{N'\varepsilon}} = N''\varepsilon,$$

ou

$$(N\varepsilon)^{N_0} = (N''\varepsilon)^{N'};$$

$$N\varepsilon \underbrace{\frac{N\varepsilon}{N_0\varepsilon} \cdots \frac{N\varepsilon}{N_0\varepsilon}}_{N_0 - 1} = N''\varepsilon. \underbrace{\frac{N''\varepsilon}{N_0\varepsilon} \cdots \frac{N''\varepsilon}{N_0\varepsilon}}_{N' - 1}$$

ou

$$N^{N_0}N_0^{N'} = N''^{N'}N_0^{N_0}.$$

On cherche un entier N''. L'opération n'est pas toujours effective. Il y a des grandeurs qui n'ont pas certaines racines.

On conclut, en récapitulant, que toutes les opérations s'appliquent en dernière analyse à la recherche de nombres entiers, et se ramènent à des calculs au moyen de nombres entiers.

XI. *Les opérations* IMPOSSIBLES *et les trois* ESPÈCES *de la grandeur.*

a) Pour (O_1), l'addition $N + N' = N''$ est une opération toujours *possible*, et qui laisse la grandeur dans l'état primitif où elle s'est proposée. Cet état initial, propre à la nature de la grandeur, est l'état positif; on le désigne par le signe $+$ (ce signe, quand il n'est pas écrit, est

implicitement supposé; il s'applique donc bien à la grandeur dans l'état initial de la question, c'est-à-dire, avant toute idée nouvelle et restrictive).

La soustraction $N - N' = N''$ est une opération impossible quand $N' > N$. On désigne cette impossibilité par le signe —, en écrivant

$$N'' = -(N' - N).$$

La grandeur $N''\varepsilon$, effective puisqu'elle est désignable, ainsi obtenue, est d'une espèce différente des grandeurs positives. Les grandeurs négatives constituent une deuxième espèce dans la science de la grandeur.

(O_2) et (O_3) n'introduisent pas par elles-mêmes, à l'exemple de (O_1), d'opérations impossibles; et par conséquent aucune espèce nouvelle de la grandeur.

b) De nouvelles espèces de grandeurs ne pourront donc provenir que de l'introduction dans (O_2) ou (O_3) de la deuxième espèce, celle des grandeurs négatives, due à la première opération (O_1).

c) (O_2), par l'introduction des grandeurs négatives, continue à ne donner lieu à aucune espèce de grandeur nouvelle; il en résulte seulement le fait très remarquable d'un rapport entre le nombre 2 et l'existence des deux premières espèces de la grandeur, ou de la polarité + —. Il consiste en ce qu'un nombre *pair* ou *impair* de facteurs (grandeurs négatives) dans (O_2) donne pour résultat une grandeur de l'espèce + ou une grandeur de l'espèce —. Mais (O_3), par l'introduction des grandeurs —, amène l'existence d'une troisième et dernière espèce de la grandeur, et cela d'une manière d'autant plus remarquable, qu'elle dépend essentiellement du fait de polarité, propre au nombre 2, que vient de mettre en évidence (O_2).

Si, en effet, dans l'élévation à une puissance (O_3), qui a donné

$$N^{N'}N_0^{N_0} = N''^{N_0}N_0^{N'},$$

N est $-N$, et que $N_0 = 2N_1N'$, N_1 étant un entier, il vient

$$N_0^{2N_1N'}(-N)^{N'} = N''^{N_0}N_0^{N'}$$

$$N_0^{(2N_1-1)N'}(-N)^{N'} = N''^{2N_1N'},$$

ou

$$N_0^{2N_1-1}(-N) = N''^{2N_1}.$$

On cherche N''. Or, que N'' soit $+$ ou $-$, le second membre est toujours $+$ et le premier $-$. On aurait donc l'égalité de deux grandeurs d'espèces différentes. L'opération est donc impossible au moyen des espèces $+$ et $-$. Néanmoins, le résultat est effectif puisqu'il est désignable; mais ce qui est remarquable, et ce qui distingue la troisième espèce de la grandeur, que l'on découvre ainsi, des deux précédentes, c'est que le signe de la désignation n'est plus arbitraire, mais est lui-même une conséquence nécessaire de l'existence des deux premiers signes et de la nature de la troisième opération (O_3). On aura, en effet,

$$N'' = N_0\sqrt[2N_1]{\frac{N}{N_0}}\sqrt[2N_1]{-1},$$

ou, pour

$$N_1 = 1, \qquad N''_\varepsilon = N_0\sqrt{\frac{N}{N_0}}\,\varepsilon\sqrt{-1},$$

($\sqrt[2N_1]{-1}$ se ramenant toujours à $\sqrt{-1}$).

C'est donc $\sqrt{-1}$ qui est le signe nécessaire d'une troisième et dernière espèce de la grandeur.

Si l'on avait fait

$$N' = 2N_1N_0,$$

on aurait eu

$$N_0^{N_0}(-N)^{2N_1N_0} = N''^{N_0}N_0^{2N_1N_0}$$
$$N_0(-N)^{2N_1} = N''N_0^{2N};$$

alors, le premier membre étant toujours + et le second pouvant être +, l'opération n'est pas impossible.

L'extraction d'une racine donnerait de son côté

$$N^{N_0}N_0^{N'} = N''^{N'}N_0^{N_0},$$

d'où, pour

$$N_0 = 2N_1N',$$
$$(-N)^{2N_1N'}N_0^{N'} = N''^{N'}N_0^{2N_1N'}$$
$$(-N)^{2N_1}N_0 = N''N_0^{2N_1},$$

ce qui n'amène pas d'opération impossible; pour

$$N' = 2N_1N_0,$$
$$(-N)^{N_0}N_0^{2N_1N_0} = N''^{2N_1N_0}N_0^{N_0}$$
$$(-N)N_0^{2N_1-1} = N''^{2N_1},$$

l'opération est impossible et donne, comme plus haut, pour $N''\varepsilon$ une grandeur de signe $\sqrt{-1}$.

XII. La grandeur a donc trois *espèces*, désignées par les signes $+ - \sqrt{-1}$.

Au moyen de ces trois *espèces*, les trois opérations (O_1), (O_2), (O_3) sont toujours *possibles*. Quant à leur réversibilité et à leur caractère effectif, elles s'ordonnent dans le schéma symétrique suivant :

$$\left.\begin{array}{l} (O_1) \\ (O_2) \end{array}\right\} \text{Réversible} \left\{\begin{array}{l} \ldots \text{ toujours effective.} \\ \ldots \text{ pas toujours effective.} \end{array}\right\}$$
$$(O_3) \text{ Non réversible} \ldots \text{ pas toujours effective.}$$

Des trois *espèces* de la grandeur, les deux premières + — se distinguent de la troisième $\sqrt{-1}$:

1° En ce que leurs signes étaient arbitraires;

2° En ce que l'on passe de l'une à l'autre, et réciproquement, par l'opération primitive (O_1), expression de la génération immédiate et primordiale de la grandeur.

Quant à la troisième espèce $\sqrt{-1}$, cette opération primitive (O_1), en vertu de laquelle, en sa qualité de grandeur, elle ne peut être conçue que sous la forme $\pm\sqrt{-1}$, ne peut la transformer en une autre espèce, mais donne toujours des grandeurs de cette même troisième espèce.

Quant à la dépendance des trois espèces : L'espèce — est engendrée par l'opération primitive de génération de la grandeur appliquée à l'espèce +. L'espèce $\pm\sqrt{-1}$ procède des espèces + et — par le moyen des opérations (O_2) et (O_3), lesquelles, comme on l'a vu, dérivent elles-mêmes de l'opération primordiale (O_1).

Puisque, en vertu de la loi primordiale (O_1) de génération de la grandeur, toutes les grandeurs + et — ont pour résultante une grandeur + ou —, la forme la plus générale de l'expression de la grandeur est, et ne peut être que

$$\alpha + \beta\sqrt{-1} = N_1\varepsilon + N_2\varepsilon\sqrt{-1}, \quad \alpha = N_1\varepsilon \text{ et } \beta = N_2\varepsilon$$

étant des grandeurs de signe soit +, soit —.

XIII. En possession des trois espèces de la grandeur, il reste à envisager, dans leur point de vue, la solution des problèmes fondamentaux (IX). Or, tous les pro-

blèmes ressortissant aux deux procédés inverses de chaque opération (O_1) (O_2), quand on fait

$$A = N_1\varepsilon + N_2\varepsilon\sqrt{-1}$$
$$B = N'_1\varepsilon + N'_2\varepsilon\sqrt{-1}$$
$$C = N''_1\varepsilon + N''_2\varepsilon\sqrt{-1},$$

n'amènent que la considération de résultats d'addition et de multiplication.

Reste à voir ce que produit l'introduction de ces grandeurs complexes dans l'opération (O_3), $A^B = C$, opération qui est l'origine de l'existence de la troisième espèce, $\sqrt{-1}$, de la grandeur, et à laquelle appartient, à cause de son caractère de non-réversibilité, le problème distinct (voyez IX) de la détermination de B pour A et C donnés.

La relation $A^B = C$ s'écrira

$$\left(\frac{N_1}{N_0} + \frac{N_2}{N_0}\sqrt{-1}\right)^{\frac{N'_1}{N_0} + \frac{N'_2}{N_0}\sqrt{-1}} = \frac{N''_1}{N_0} + \frac{N''_2}{N_0}\sqrt{-1} \text{ (*)};$$

ou, sous la forme (O'_3) de la solution du problème distinct (IX),

$$(O''_3)\left(\frac{N'_1}{N_0} + \frac{N'_2}{N_0}\sqrt{-1}\right) = \frac{m\left[\left(\frac{N''_1}{N_0} + \frac{N''_2}{N_0}\sqrt{-1}\right)^{\frac{1}{m}} - 1\right]}{m\left[\left(\frac{N_1}{N_0} + \frac{N_2}{N_0}\sqrt{-1}\right)^{\frac{1}{m}} - 1\right]},$$

(*) L'élévation à une puissance de l'*espèce* $\sqrt{-1}$ signifie qu'il faut faire le nombre de multiplications successives indiqué par le coefficient de $\sqrt{-1}$, mais en considérant ce nombre lui-même comme pris dans la collection des grandeurs de l'espèce $\sqrt{-1}$: $\sqrt{-1}$ remplit ici le rôle d'un indice.

où l'on a

$$\left[1 + \left(n_1 + n_2\sqrt{-1}\right)\varepsilon'\right]^m = \frac{N_1}{N_0} + \frac{N_2}{N_0}\sqrt{-1},$$

n_1 n_2 étant des entiers finis, et ε' l'infiniment petit absolu de *nombre* ou rapport.

Suivons l'ordre des déductions auquel nous avons déjà commencé à procéder à l'article IX.

Il existe une base

$$A = N_1\varepsilon + N_2\varepsilon\sqrt{-1}$$

telle que sa mention explicite disparait dans l'expression théorique (O_3''). C'est celle qui fait disparaître la mention explicite du dénominateur, ou qui égale celui-ci à 1. Elle est donnée par

$$m\left[\left(\frac{N_1}{N_0} + \frac{N_2}{N_0}\sqrt{-1}\right)^{\frac{1}{m}} - 1\right] = 1,$$

d'où

$$N_2 = 0,$$

$$\frac{N_1}{N_0} = e = \left(1 + \frac{1}{m}\right)^m,$$

base des logarithmes naturels, dont l'évaluation technique est

$$e = 2{,}71828\ldots$$

(O_3'') devient

$$\frac{N_1'}{N_0} + \frac{N_2'}{N_0}\sqrt{-1} = m\left[\left(\frac{N_1''}{N_0} + \frac{N_2''}{N_0}\sqrt{-1}\right)^{\frac{1}{m}} - 1\right].$$

Pour

$$N_2' = 0, \quad N_2'' = 0,$$

on a

$$a) \qquad \frac{N'_1}{N_0} = m\left[\left(\frac{N''_1}{N_0}\cdot\right)^{\frac{1}{m}} - 1\right].$$

Pour

$$N'_1 = 0, \quad N''_2 = 0,$$

on a

$$b) \qquad \frac{N'_2}{N_0} = \frac{m}{\sqrt{-1}}\left[\left(\frac{N''_2}{N_0}\sqrt{-1}\right)^{\frac{1}{m}} - 1\right].$$

$a)$ donne, par $\frac{N'_1}{N_0}$, le logarithme naturel de $\frac{N''_1}{N_0}$.

$b)$ donne, par $\frac{N'_2}{N_0}\sqrt{-1}$, le logarithme naturel de $\frac{N''_2}{N_0}$.

Il existe une grandeur

$$C = N''_1\varepsilon + N''_2\varepsilon\sqrt{-1}$$

qui, dans les expressions théoriques $a)$ $b)$, fait disparaître la mention explicite de C. C'est

$$C = N_0\varepsilon + N_0\varepsilon\sqrt{-1} = N_0\varepsilon(1 + \sqrt{-1}),$$

qui donne

$$\frac{N''_1}{N_0} = 1 \qquad \frac{N''_2}{N_0} = 1;$$

et, par conséquent,

$$a') \qquad \frac{N'_1}{N_0} = 0,$$

$$b') \qquad \frac{N'_2}{N_0} = \frac{m}{\sqrt{-1}}\left[\left(\sqrt{-1}\right)^{\frac{1}{m}} - 1\right].$$

On désigne le nombre ainsi obtenu par le signe $\frac{\pi}{2}$.

On peut écrire

$$\left(\sqrt{-1}\right)^{\frac{1}{m}} - 1 = \left(\frac{1+\sqrt{-1}}{1-\sqrt{-1}}\right)^{\frac{1}{m}} - 1$$

$$= \frac{\left(1+\sqrt{-1}\right)^{\frac{1}{m}} - \left(1-\sqrt{-1}\right)^{\frac{1}{m}}}{\left(1-\sqrt{-1}\right)^{\frac{1}{m}}}$$

$$= \left(1+\sqrt{-1}\right)^{\frac{1}{m}} - \left(1-\sqrt{-1}\right)^{\frac{1}{m}},$$

puisque,

$$\left(1+\sqrt{-1}\right)^{\frac{1}{m}}, \quad \left(1-\sqrt{-1}\right)^{\frac{1}{m}}$$

étant de l'ordre $1 + n\varepsilon$ où n est fini, le produit du numérateur par $n\varepsilon$ est de l'ordre ε^2 et par conséquent *n'existe pas.*

On a donc aussi, sous une forme donnée par Wronski,

$$\pi = \frac{2m}{\sqrt{-1}}\left\{\left(1+\sqrt{-1}\right)^{\frac{1}{m}} - \left(1-\sqrt{-1}\right)^{\frac{1}{m}}\right\}.$$

Le développement des puissances donne l'évaluation technique

$$\pi = 4\left(1 - \frac{1}{3} + \frac{1}{5} - \frac{1}{7} + \cdots\right),$$

série de Leibnitz, d'où l'on déduit $\pi = 3,14159\ldots$

Les deux nombres

$$\left\{\begin{aligned} e &= \left(1+\frac{1}{m}\right)^m \\ \frac{\pi}{2} &= \frac{m\left[\left(\sqrt{-1}\right)^{\frac{1}{m}} - 1\right]}{\sqrt{-1}} \end{aligned}\right.$$

ayant pour évaluations techniques

$$\begin{cases} e = 1 + \frac{1}{1} + \frac{1}{1.2} + \frac{1}{1.2.3} + \cdots \\ \frac{\pi}{4} = 1 - \frac{1}{3} + \frac{1}{5} + \frac{1}{7} + \cdots, \end{cases}$$

ne sont donc pas en mathématiques des données particulières ; ils se présentent au contraire comme des nombres régulateurs des lois primordiales de la grandeur. Cette observation est à rapprocher du fait non moins remarquable du rôle que nous avons vu jusqu'ici remplir à ce même égard par les nombres 2 et 3.

Relation entre e *et* $\frac{\pi}{2}$,

$$m\left[\left(\sqrt{-1}\right)^{\frac{1}{m}} - 1\right]$$

n'est autre chose que le logarithme naturel de $\sqrt{-1}$. On a donc

$$\sqrt{-1} = e^{\frac{\pi}{2}\sqrt{-1}};$$

d'où, pour une puissance quelconque K,

$$\left(\sqrt{-1}\right)^{K} = e^{K\frac{\pi}{2}\sqrt{-1}};$$

et, si $\rho = N\varepsilon$ désigne la grandeur $N\varepsilon$,

$$\rho\left(\sqrt{-1}\right)^{K} = \rho e^{K\frac{\pi}{2}\sqrt{-1}}.$$

Or cette expression

$$\rho\left(\sqrt{-1}\right)^{K}$$

n'est autre chose, au moyen des deux grandeurs ρ, K,

que l'expression la plus générale $A + B\sqrt{-1}$ de la grandeur; de telle manière que, puisqu'on a dès lors généralement

$$A + B\sqrt{-1} = \rho e^{K\frac{\pi}{2}\sqrt{-1}},$$

les deux nombres e et $\frac{\pi}{2}$ non seulement se présentent comme régulateurs des lois primordiales de la grandeur, mais comme intervenant dans l'expression théorique la plus générale de toutes les grandeurs.

Il suffit pour le démontrer de remarquer que l'on a, pour a et b quelconques,

$$a = \frac{a+b}{2} + \frac{a-b}{2}.$$

Si

$$a = (\sqrt{-1})^K, \quad b = (\sqrt{-1})^{-K},$$

on a donc

$$(\sqrt{-1})^K = \frac{(\sqrt{-1})^K + (\sqrt{-1})^{-K}}{2} + \frac{(\sqrt{-1})^K - (\sqrt{-1})^{-K}}{2}$$

et

$$\rho(\sqrt{-1})^K = \rho\left\{\frac{(\sqrt{-1})^K + (\sqrt{-1})^{-K}}{2} + \frac{(\sqrt{-1})^K - (\sqrt{-1})^{-K}}{2\sqrt{-1}}\sqrt{-1}\right\},$$

ce qui introduit déjà la forme

$$A + B\sqrt{-1} = \sqrt{A^2 + B^2}\left(\frac{A}{\sqrt{A^2 + B^2}} + \frac{B\sqrt{-1}}{\sqrt{A^2 + B^2}}\right).$$

D'ailleurs on a, en développant les carrés,

$$\left[\frac{(\sqrt{-1})^{K}+(\sqrt{-1})^{-K}}{2}\right]^2+\left[\frac{(\sqrt{-1})^{K}-(\sqrt{-1})^{-K}}{2\sqrt{-1}}\right]^2=1.$$

On peut donc toujours, en posant

$$\rho=\sqrt{A^2+B^2}$$

$$\frac{A}{\rho}=\frac{(\sqrt{-1})^{K}+(\sqrt{-1})^{-K}}{2}$$

$$\frac{B}{\rho}=\frac{(\sqrt{-1})^{K}-(\sqrt{-1})^{-K}}{2\sqrt{-1}},$$

écrire, pour la grandeur générale G,

$$G=A+B\sqrt{-1}=\rho(\sqrt{-1})^{K}=\rho e^{K\frac{\pi}{2}\sqrt{-1}}.$$

Pour

$$5\left\{\begin{array}{ll} K=0 \text{ on a } & G=\rho \\ K=1 & G=\rho e^{\frac{\pi}{2}\sqrt{-1}}=\rho\sqrt{-1} \\ K=2 & G=\rho e^{\pi\sqrt{-1}}=\rho(\sqrt{-1})^2=-\rho \\ K=3 & G=\rho e^{3\frac{\pi}{2}\sqrt{-1}}=\rho(\sqrt{-1})^3=-\rho\sqrt{-1} \\ K=4 & G=\rho e^{2\pi\sqrt{-1}}=\rho(\sqrt{-1})^4=\rho. \end{array}\right.$$

La série des nombres entiers 1, 2, 3, 4 (et des groupes suivants par 4) établit donc une périodicité dans l'expression la plus générale de la grandeur; ou encore : l'expression la plus générale de la grandeur abstraite présente une périodicité dépendante de la série des nombres entiers 1, 2, 3, 4 (et groupes suivants de 4), le

nombre 5 fermant le cycle de la période. Le terme régulateur de cette série progressive est le nombre $\frac{\pi}{2}$, nombre théorique tel qu'il s'est présenté dans les déductions, et non point π, qui n'est donc pas le nombre théorique lui-même, mais bien son double.

La forme

$$G = \rho e^{K\frac{\pi}{2}\sqrt{-1}}$$

de la grandeur au moyen des nombres régulateurs e et $\frac{\pi}{2}$ étant absolument générale, et représentant toutes les grandeurs complexes, son introduction dans l'opération (O_3) contient la résolution de tous les problèmes propres à cette opération, quels que soient la base A, l'exposant B et la grandeur résultante C.

La forme

$$G = A + B\sqrt{-1} = \rho e^{K\frac{\pi}{2}\sqrt{-1}}$$

est, d'après ce qui précède, la vraie forme théorique de la grandeur G.

On peut lui en donner une autre, mais qui suit de moins près la véritable signification théorique, en posant

$$K\frac{\pi}{2} = \theta \quad \text{et} \quad G = \rho e^{\theta\sqrt{-1}},$$

ρ s'appelant le module et θ l'argument de G.

$$\frac{A}{\rho} = \frac{(\sqrt{-1})^K + (\sqrt{-1})^{-K}}{2}$$

$$\frac{B}{\rho} = \frac{(\sqrt{-1})^K - (\sqrt{-1})^{-K}}{2\sqrt{-1}}$$

deviennent alors des fonctions de θ; en désignant ces fonctions par $\cos\theta$, $\sin\theta$, on a

$$\cos\theta = \frac{\left(\sqrt{-1}\right)^{\frac{\theta}{\frac{\pi}{2}}} + \left(\sqrt{-1}\right)^{-\frac{\theta}{\frac{\pi}{2}}}}{2} = \frac{e^{\theta\sqrt{-1}} + e^{-\theta\sqrt{-1}}}{2}$$

$$\sin\theta = \frac{\left(\sqrt{-1}\right)^{\frac{\theta}{\frac{\pi}{2}}} - \left(\sqrt{-1}\right)^{-\frac{\theta}{\frac{\pi}{2}}}}{2\sqrt{-1}} = \frac{e^{\theta\sqrt{-1}} - e^{-\theta\sqrt{-1}}}{2\sqrt{-1}},$$

et

$$G = A + B\sqrt{-1} = \rho\left(\cos\theta + \sin\theta\sqrt{-1}\right).$$

Comme

$$e = \left(1 + \frac{1}{m}\right)^m, \quad e^{\theta\sqrt{-1}} = \left(1 + \frac{1}{m}\right)^{m\theta\sqrt{-1}},$$

$$e^{-\theta\sqrt{-1}} = \left(1 + \frac{1}{m}\right)^{-m\theta\sqrt{-1}},$$

on obtient, par le développement des puissances, les expressions techniques

$$\cos\theta = 1 - \frac{\theta^2}{1.2} + \frac{\theta^4}{1.2.3.4} - \cdots$$

$$\sin\theta = \theta - \frac{\theta^3}{1.2.3} + \frac{\theta^5}{1.2.3.4.5} - \cdots$$

D'après leurs expressions théoriques, $\cos\theta$ et $\sin\theta$ sont des fonctions périodiques dont la période correspond à la série des entiers $K = 1, 2, 3, 4$ (et des groupes suivants de 4), la véritable grandeur unité de $\theta = K.\frac{\pi}{2}$ étant le nombre théorique $\frac{\pi}{2}$.

Comme, d'après ces mêmes expressions, on a constamment

$$\cos^2\theta + \sin^2\theta = 1,$$

en posant

$$\rho\cos\theta = x, \quad \rho\sin\theta = y,$$

il vient

$$G = x + y\sqrt{-1}$$

et

$$\rho^2 = x^2 + y^2.$$

Ainsi le carré du module est égal à la somme des carrés des deux grandeurs x, y, afférentes à deux espèces différentes de la grandeur.

XIV. Nous venons de reconnaître l'existence des trois *espèces* de la grandeur, nécessaires et suffisantes pour la solution de tous les problèmes qu'amène la conception primitive de cette grandeur, savoir : comme étant tout ce qui est susceptible d'augmentation ou de diminution sans changer de nature.

Nous avons aussi analysé, à l'article XII, la manière dont ces espèces elles-mêmes procèdent les unes des autres par l'application des lois de la grandeur, et établi à cet égard une distinction entre les deux premières $+$ et $-$, et la troisième $\sqrt{-1}$.

Il reste à déterminer les conditions de *séparation* de ces espèces, c'est-à-dire, puisque chacune, en sa qualité de grandeur, varie, dans son espèce, suivant la loi primitive d'augmentation et de diminution, ce qui détermine l'irréductibilité, en suivant cette loi, de l'une quelconque des trois espèces à l'une des deux autres.

Or, cette question se résout d'une manière très visible

et comme d'elle-même, par la considération de la troisième espèce $\sqrt{-1}$.

La grandeur de cette espèce y varie, c'est-à-dire varie dans son espèce, suivant la loi primitive d'augmentation et de diminution (laquelle engendre l'espèce — en partant de l'espèce initiale $+$); c'est ce qu'indique le signe $\pm$ qui affecte *nécessairement* $\sqrt{-1}$, et qui en désigne les grandeurs par $\pm\sqrt{-1}$. On voit donc que la troisième espèce se compose d'un système de grandeurs $+$ et $-$, réductibles des unes aux autres par la loi de génération primitive de la grandeur, auquel *système* tout entier on applique le signe $\sqrt{-1}$ d'irréductibilité suivant cette même loi, les grandeurs $+$ et les $-$ se combinant entre elles, dans ce système, suivant toutes les opérations propres aux espèces $+$ et $-$, et ne différant pas en nature, prises en elles-mêmes, de toutes autres grandeurs $+$ ou $-$ auxquelles ne serait pas accolé le signe $\sqrt{-1}$.

Il en résulte que pour qu'on puisse avoir d'une manière séparée, c'est-à-dire telle qu'elles soient irréductibles des unes aux autres, trois grandeurs des trois espèces, il faut considérer trois *systèmes* $(+\ -)$, soient $a\,b\,c$, distincts entre eux par la condition qu'*en passant de l'un quelconque à un autre, le second est affecté du signe* $\sqrt{-1}$.

$\sqrt{-1}$, qui est le signe unique de séparation et d'irréductibilité que présentent les lois de la grandeur est, dès lors, nécessaire, et il est suffisant pour l'existence indépendante, c'est-à-dire irréductible des unes aux autres par la loi de définition de la grandeur, de trois grandeurs arbitraires des trois espèces. Ainsi on peut prendre dans a arbitrairement un $+$; en passant de a à b, b devient $(+\ -)\sqrt{-1}$, et on peut y prendre arbitrairement une

des grandeurs — dans la collection des $(+\ -)$; en passant de a à c, c devient $(+\ -)\sqrt{-1}$, et on peut y prendre arbitrairement une des grandeurs $\pm\sqrt{-1}$. Ces trois grandeurs $+$, $(-)\sqrt{-1}$, $\pm\sqrt{-1}$ sont irréductibles, parce que les trois systèmes sont irréductibles. D'ailleurs, les trois systèmes $(+\ -)$ étant identiques, pris en eux-mêmes, toutes les opérations de passage précédentes, quel que soit le système initial, sont identiques et réversibles.

XV. La considération nécessaire des trois systèmes $(+\ -)$ engendrés par l'opération primitive (O_1) (art. XII), dérivée de la loi qui définit la grandeur, conduit enfin à une dernière conséquence, propre aux opérations réversibles (O_1) (O_2) (art. XII) entre les grandeurs x, y, z existantes *dans* chacun de ces trois systèmes $(+\ -)$.

Ces opérations sont

$$(O_1)\quad A + B = C$$

$$(O_2)\quad A \times B = C.$$

Ces grandeurs x, y, z, distinctes, puisqu'elles appartiennent à trois systèmes distincts, donnent lieu à de nouvelles grandeurs complexes qui sont, en mentionnant en outre d'abord x, y, z elles-mêmes et l'*élément* constitué par le *groupe* (x, y, z),

$$(xyz),\quad x, y, z,\quad \begin{matrix} x+y, & x+z, & y+z, & x+y+z; \\ xy & xz & yz; & xyz. \end{matrix}$$

Ce sont là des éléments complexes obtenus en partant d'éléments simples. Il faut leur adjoindre, comme éléments

simples obtenus en partant d'éléments complexes, le module

$$\rho = \sqrt{x^2 + y^2} \text{ de } x + y\sqrt{-1},$$

et le module

$$\rho' = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \text{ de } \rho + z\sqrt{-1}.$$

Le module ρ^2 correspond à xy; et ρ^3 à xyz.

XVI. Nous terminerons cette analyse des lois de la grandeur abstraite par une observation, à laquelle nous avons déjà touché incidemment, mais qu'il importe, vu sa portée, de synthétiser plus explicitement. Cette observation, c'est celle du rôle que jouent, dans ces lois abstraites et absolument générales, des nombres particuliers, et tout d'abord les nombres entiers les plus simples. Ainsi l'idée essentielle de l'*unité* est introduite dès le commencement par celle de l'infiniment petit absolu, qui, par son adjonction à lui-même, engendre toutes les grandeurs (IV); puis immédiatement *3* par les 3 opérations (VIII); *2* par les 2 opérations réversibles, et par la polarité des grandeurs + et — dans la deuxième opération (XI, *c*; XII), polarité qui, en faisant intervenir la racine carrée $\sqrt[3]{-1}$, conduit à l'existence et à l'établissement (XII) des *3* espèces de la grandeur. L'expression générale de la grandeur complexe au moyen de ces 3 espèces y fait découvrir ensuite une périodicité réglée sur le nombre *4*, et dont le nombre *5* ferme le cycle (XIII); et enfin, la condition de séparation des 3 espèces de la grandeur, amène, par les trois systèmes (+ —), un système résultant définitif à *6* parties distinctes (XIV). Dans tout son ensemble, la science de la grandeur abstraite, ainsi caractérisée par la suite des nombres

entiers 1 2 3 4 5 6, est donc encadrée entre le *néant 0*, et le nombre 7; et cela est d'autant plus remarquable que l'ordre naturel de succession des nombres entiers est amené par l'ordre naturel des déductions rationnelles, lesquelles avaient été tout entières établies avant que nous eussions fait cette remarque.

Tout l'ensemble dont il s'agit a en outre pour caractéristique deux nombres régulateurs entièrement définis, à génération technique indéfinie, e et $\frac{\pi}{2}$ (*), dans les expressions théoriques desquels interviennent l'infiniment grand et l'infiniment petit, et qui déterminent l'expression la plus générale de la grandeur.

4. *La théorie de l'espace.* L'analyse que nous venons de faire des lois de la grandeur abstraite était le premier terme nécessaire de notre étude. Mais il semble qu'après cela l'établissement de son terme définitif, qui consiste à prouver que l'espace n'est qu'une réalisation de ces lois, devienne en quelque sorte inutile et que la démonstration se fasse d'elle-même, le lecteur qui a suivi dans leur ordre les déductions précédentes ayant dû de lui-même en faire la paraphrase géométrique, au moyen des notions, instinctives ou de science définie, qu'il possède déjà de l'espace.

Il ne reste donc qu'à préciser. Mais ce qui surtout, dans l'identification, constituera matière nouvelle et trait suffisant et décisif, c'est la constatation, dans l'espace, de l'entière série des nombres entiers caractéristiques de la science de la grandeur abstraite, nombres amenés par

(*) Notre analyse démontre bien que c'est $\frac{\pi}{2}$ et non π qui est ici la vraie grandeur théorique.

l'existence de données qui, ici et là, se présentent exactement dans le même ordre de dépendance.

Ainsi, sans parler de l'*unité*, qu'on retrouve des deux parts dans le fait de la formation de la grandeur par la juxtaposition d'une grandeur toujours essentiellement identique à elle-même, la polarité $+ -$ et son nombre 2 se retrouvent dans l'existence des directions ou orientations opposées; le nombre 3 des trois conditions indépendantes, nécessaires à la détermination isolée des trois espèces de la grandeur, dans le fait des 3 dimensions de l'espace; les nombres 4 et 5 propres à la *période* et au *cycle fermé* de l'expression générale de la grandeur complexe, dans la division rectangulaire du plan et le retour à la demi-droite rectangulaire initiale, l'unité $\frac{\pi}{2}$ y étant représentée sous la forme de l'angle droit; le nombre 6 enfin, amené dans la grandeur par les trois systèmes indépendants de $(+ -)$ nécessaires à l'indépendance et à la séparation de ses trois espèces, n'est autre que celui des 6 directions rectangulaires fondamentales de l'espace, lesquelles s'y décomposent en effet en trois systèmes rectilignes indépendants, possédant chacun deux directions opposées.

Toute la construction de l'espace, dès lors complète, est donc rigoureusement calquée sur celle de la théorie de la grandeur, complète dès lors aussi.

Il n'est pas enfin jusqu'aux 12 éléments en x, y, z de l'article XV qui n'aient leur réalisation : le groupe (xyz), avec ses sommes complexes $x + y$, $x + z$, $y + z$, $x + y + z$, est le *point* et ses distances complexes; xy, xz, yz sont les *surfaces* dans les trois plans coordonnés; xyz, le *volume*. En outre, les modules ρ et ρ', éléments simples déduits des éléments complexes, sont les distances

du point à l'origine, dans les plans coordonnés et dans l'espace; et ρ^2, ρ'^3 correspondants à xy, xyz, mesurent, dans le plan et dans l'espace, le *cercle* et la *sphère*.

Il ne reste plus qu'à dire que, connexes de ces grands traits, les deux nombres régulateurs $\frac{\pi}{2}$ et e de la grandeur complexe, se lisent dans l'espace; puisque dans l'ordre de la ligne la plus simple (celle du second ordre) engendrée par la grandeur complexe, $\frac{\pi}{2}$ mesure la surface de l'ellipse et e celle de l'hyperbole, symétriquement ordonnées, dans cet ordre, c'est-à-dire dans la famille des coniques, par rapport à une limite commune qui est la parabole (*).

5. L'identification est donc complète, et par conséquent la démonstration de l'*espace comme réalisation des lois de la grandeur abstraite* l'est aussi, puisque cette identification concerne des deux parts non des conséquences de principes, mais les principes premiers eux-mêmes; et que, ces principes étant identiques de part et d'autre, il en doit être forcément de même de toutes les conséquences (**).

(*) Ce n'est pas un fait digne de peu d'attention non plus que celui de la constitution du monde sensible ou physique lui-même d'après ces mêmes éléments. La loi universelle d'attraction est suivant ρ^2, la loi de répulsion universelle [*Étude du système des forces*, MÉMOIRES, t. XLVIII (loi de Mariotte)] suivant ρ^3; et tout l'ordre du ciel est construit d'après l'équation du second degré, et mesuré par $\frac{\pi}{2}$ et e.

(**) Comme je l'ai déjà fait remarquer ailleurs, on arriverait à cette dentification rien qu'en réfléchissant à la manière dont nous arrivons à l'idée de l'espace, c'est-à-dire précisément en faisant abstraction de toutes les différences sensibles ou spécifiques entre les corps; il ne reste donc en fait alors pour notre esprit que des lois abstraites de la grandeur; et il suit déjà immédiatement de cette voie d'arrivée que l'espace, comme la grandeur, est essentiellement homogène et

Il suit d'ailleurs de là que la conception de l'espace est unique, puisque celle de la grandeur l'est; qu'il n'y a pas plus deux espaces différents qu'il n'existe deux mathématiques, ou sciences de la grandeur, différentes; et c'est de cette identification, tout au moins instinctive, que provient le caractère d'évidence que l'esprit humain a toujours accordé à la géométrie.

6. Une contre-épreuve de cette thèse consisterait à mettre ses adversaires au défi de produire des éléments de doute rationnel dans la théorie de l'espace. Or cette contre-épreuve peut être considérée comme dès à présent réalisée et comme décisive, tant par son résultat négatif que par l'autorité même de ceux qui ont cru pouvoir la soutenir et s'attaquer à la notion séculaire. Leur argumentation a porté soit sur le nombre des dimensions possibles de l'espace; soit, conservant le nombre des dimensions, sur la possibilité de plusieurs espaces différents, caractérisés par ce même nombre.

L'analyse que nous venons de présenter nous permet de répondre très péremptoirement, et d'ailleurs très brièvement, à ces deux genres d'arguments. L'objection concernant le nombre indéterminé des dimensions, s'appuie sur l'analogie des relations linéaires entre coordonnées, relations dont la forme s'étendrait aussi bien, dit-on, à 4, 5... *n*.., dimensions qu'à des « espaces » à 1, 2, 3 dimensions comme la « ligne », le « plan », le « volume ». On a conclu de là, par exemple, que le monde pourrait

---

infini, les suppositions contraires étant, comme je l'ai bien mis en évidence, contradictoires à elles-mêmes, c'est-à-dire absurdes. Il ne reste plus alors, comme on vient de le faire, qu'à montrer que les lois de la grandeur abstraite sont, par l'espace, réalisées dans leur intégrité.

aussi bien être à 4 dimensions et nous paraître n'en avoir que 3, qu'il pourrait sembler à un animal plan placé dans un monde à 3 dimensions, que ce monde n'en possède réellement que 2.

Il est une réfutation qu'on peut tirer tout d'abord, contre cette supposition, de l'existence de la continuité des phénomènes dans le monde sensible, c'est-à-dire réel, ou construit d'après le nombre réel des dimensions de l'espace. Pour l'animal plan et l'espace à 3 dimensions, le monde paraîtrait essentiellement discontinu, et comme dans un état de miracle perpétuel. Mais à cette considération physique, et sans nul doute déjà probante, on peut maintenant joindre, ou mieux substituer, la solidité d'un fait mathématique, qui ruine dans son principe l'argument, mathématique aussi, sans lequel l'objection n'aurait pas de base. Cet argument c'est, d'après l'identité de forme des relations linéaires entre coordonnées, quel que soit le nombre n des dimensions, l'indifférence du choix du nombre n, et par conséquent la rationnalité d'un doute théorique (en admettant que *notre* observation physique propre ne soit pas déjà à cet égard un moyen de sélection). Or cet argument, c'est-à-dire l'indifférence théorique du choix, n'existe plus du moment qu'il est prouvé qu'entre tous les nombres entiers 1, 2..., n..., il existe un nombre, et un seul, le nombre 3, qui permet à l'espace de réaliser les lois primordiales de la grandeur abstraite. Car, tandis que théoriquement il n'existe aucune raison à proposer en faveur d'un nombre quelconque différent de 3, puisque la seule proposable eût été une raison d'absolue indifférence, il se trouve au contraire que l'ensemble ordonné et complet de toutes les raisons nominatives désigne un nombre unique, et que ce nombre est 3.

Le second ordre d'objections que nous avons mentionné constitue la métagéométrie; il suffit ici de renvoyer à ce qui a déjà été rappelé au § 1; et cependant, vu la regrettable tendance de certaines théories à passer à côté des objections claires qui leur sont présentées, et la répétition publique des idées étant leur meilleure épreuve, l'insistance ne serait nullement ici hors de mise (*).

Elle porterait : 1° sur l'identification fautive de la science de l'espace et de la science de la ligne droite. En dehors de son mérite analytique, il n'existe rien de plus, dans toute la métagéométrie, que cette confusion (**). Il n'existe pas plus trois espaces et trois géométries, Lobatchefskien, Euclidien et Riemannien parce qu'il existe trois espèces de droites, qu'il n'existe trois espaces parce qu'il y a trois espèces de coniques; 2° sur la définition de l'espace, qu'au risque de ne pas exister, la métagéométrie elle-même a bien été obligée, comme toute théorie, de donner de son

---

(*) Tout l'édifice des raisons de la métagéométrie s'appuie sur la fâcheuse confusion d'un mot et d'une idée; le mot c'est la *ligne droite*, laquelle, dans la position de la question, désigne simplement une ligne appartenant à une certaine famille de lignes (comme on emploie le mot *conique* pour désigner la famille connue des courbes du second ordre); l'idée, c'est — en pensant à la « ligne droite vulgaire » de l'espace euclidien — celle qu'il n'existe qu'une ligne droite dans l'espace, et qu'ainsi, autant il y a de lignes droites (simples termes d'une certaine famille de lignes), autant il existe d'espaces différents, et par suite de géométries. On aurait simplement dû se souvenir que toute cette famille existe dans un unique espace, et que, puisque la « ligne droite vulgaire » ou droite euclidienne fait partie de cette famille de lignes, l'espace unique qui les contient toutes est euclidien.

(**) Une remarque assez piquante c'est que si la métagéométrie peut, à la rigueur, tenir une place dans l'enseignement supérieur, elle n'oserait certainement pas risquer cette épreuve dans l'enseignement moyen; ce qui vient, à notre avis, non pas de ce qu'elle est trop profonde, mais bien de ce qu'elle ne l'est pas assez.

objet, et qui n'est autre [*collection d'éléments à trois indices* (points à trois coordonnées)] que celle à laquelle, par la considération finale du groupe ou élément (xyz) à trois indices xyz, nous avons nous-même été conduit plus haut par l'analyse la plus générale de la science de la grandeur.

Il ne faut donc plus seulement dire que la métagéométrie est le résultat d'une erreur, il faut dire qu'elle-même s'est chargée de démontrer, en voulant faire la théorie abstraite de l'espace, qu'il n'existe de géométrie que la géométrie euclidienne.

Cette question, déjà envisagée, de la définition de l'espace, propose cependant à la critique une autre face encore, dont il convient de dire quelques mots.

Il existe, en effet, une école de métagéomètres, moins logique à certain égard, mais certainement plus prudente, qui actuellement, surtout en Allemagne, tente d'éviter, en l'ignorant, la supposition de plusieurs espaces, en séparant complètement le problème logique du problème métaphysique. Faire de la logique, c'est raisonner juste sur des principes donnés, quels qu'ils soient; faire de la métaphysique, c'est déterminer les vrais principes eux-mêmes de l'objet que l'on étudie. Ils laissent donc de côté le problème métaphysique de l'espace, ce qui se réduit, en termes clairs, à dire qu'ils ne donnent pas de définition de l'espace, c'est-à-dire de l'objet de la géométrie. Pour servir de base à leur problème logique, le seul dont ils prétendent s'occuper, ils considèrent ensuite, sans les définir non plus, certains éléments tels que « point, droite, plan, etc. », et se donnent, à l'estime, sous le nom d'*axiomes*, et à titre conditionnel, certaines relations qui leur paraissent *convenables* entre ces éléments non définis. En tirant logiquement les conséquences de ces relations ainsi données, ils édifient ce qu'ils appellent

une géométrie. (La géométrie, qu'ils se gardent d'ailleurs aussi de définir, n'est donc pas la science de l'espace, espace dont on convient de ne pas même parler; pour eux, c'est simplement l'ensemble des conséquences logiques de relations données, fondées ou non en nature, entre des éléments, non définis non plus, point, droite, etc. En réalité, ce que ces géomètres font, c'est ce que tout le monde appelle de la physique.)

Or ils se flattent qu'en multipliant ces essais de construction de la géométrie, c'est-à-dire en pêchant ainsi, un peu au hasard, les données de leur problème logique, et en considérant chaque géométrie comme une épreuve, il finira par ne rester comme résidu, en éliminant, par la comparaison des systèmes, des différences accidentelles dues au choix particulier des données, que ce qui doit être nécessairement commun à tous, c'est-à-dire, comme quintessence, la vraie géométrie; et qu'ainsi, c'est-à-dire en ne s'en occupant en réalité pas du tout, et en ne l'envisageant jamais, ils arriveront à résoudre le problème métaphysique. Ils connaîtront enfin la nature de l'espace, l'auront défini sans y avoir pensé et pourront, dès lors, appeler la géométrie de son vrai nom.

Ils ne sont pas loin de considérer cette séparation victorieuse du problème logique et du problème métaphysique comme une des plus admirables conquêtes de l'esprit scientifique. Il ne faut cependant pas une réflexion bien profonde pour reconnaître en tout cela une pure illusion, c'est-à-dire au fond une erreur de raisonnement, et que si chaque système géométrique, logiquement édifié sur une base, vraie ou fausse on n'en sait rien, peut respecter, pour son compte, la logique, la méthode, — dont le seul but utile et avoué est la solution du problème métaphysique, c'est-à-dire la définition et l'édification de

la théorie de l'espace, ou la vraie géométrie, — que cette méthode, disons-nous, manque, elle, essentiellement de logique.

Il suffira pour cela de présenter à ces géomètres deux petites remarques.

La première consiste à leur demander qu'est-ce donc qui leur sert de guide, et où ils prennent les « axiomes » de leurs géométries, — puisque assurément ce n'est pas dans la physiologie ou la musique, — sinon dans un fonds commun qui n'est autre chose que la notion mal débrouillée encore de l'espace et de la vraie géométrie qui en est la théorie.

De deux choses l'une : ou bien ils reconnaîtront ceci, ou ils le contesteront.

A. S'ils le reconnaissent, la question est toute résolue, et nous sommes d'accord sur l'existence d'une notion définie de l'espace, existant au moins implicitement dans notre esprit. Mais leur méthode n'en est pas moins alors illogique, car il devient parfaitement superflu de combiner entre eux des éléments empruntés à ce fonds unique pour construire des systèmes partiels dont aucun ne servira. Ce qu'il faut, c'est, au lieu d'édifier ces conséquences des éléments ainsi empruntés, descendre au contraire de ces éléments à des principes plus simples, afin d'atteindre ainsi les principes premiers et irréductibles de la définition dont on a admis l'existence. Telle est certainement la voie logique; or elle est exactement opposée à celle qu'ils proposent.

B. S'ils nient emprunter au fonds métaphysique d'une notion primitive de l'espace, les éléments de leurs systèmes partiels, alors :

a) S'ils ont raison, c'est-à-dire si leurs axiomes ne

sont pas empruntés à un tout défini et systématique, la méthode est illogique, puisqu'elle ne peut conduire à rien, étant impossible qu'ils extraient de l'ensemble de ces axiomes, combinés comme on voudra, un principe qu'ils ne renfermaient pas; et

b) S'ils ont tort, on se retrouve dans le cas *A*, où la voie logique est l'inverse de leur procédé, et leur méthode illogique parce qu'elle est superflue; mais avec l'aggravation qu'au lieu d'agir consciemment, ils font ici de la métaphysique sans le savoir.

La seconde remarque c'est que les géomètres conservateurs de cette école, aussi bien que ceux qui mettent plus explicitement en doute la nature de l'espace, se chargent, tout aussi bien que ces derniers, de souligner leur erreur ou leur illusion, en se servant, qu'ils le veuillent ou non, et parce qu'ils ne peuvent faire autrement, d'une définition de l'espace, laquelle définition est toujours celle sur le caractère unique et inéluctable de laquelle nous avons déjà tant de fois insisté, et à laquelle, quelque chemin que l'on suive, on aboutit toujours : celle de *l'espace collection de points.*

En effet, dans les nombreux « axiomes » proposés par cette école, et entre lesquels on est invité à choisir, il n'en est pas qui ne fasse intervenir le *point;* comme, par exemple, dans l'axiome : par deux points on peut faire passer une seule droite; dans les axiomes d'angles, puisque l'idée de sommet d'un angle n'est autre que l'idée du point, etc. Or, il y a un « axiome » que ces géomètres ne formulent pas, et dont ils ont cependant un besoin nécessaire, c'est celui qui décide de combien de points on pourra ainsi se servir. Il faut donc qu'un « axiome » préalable déclare *combien* il y a de points disponibles. Or il est certain qu'avec toute la prudence scientifique

nécessaire, ils devront répondre pour le moins : *beaucoup de points;* et en tout cas, il est certain en fait qu'ils introduisent comme base nécessaire de tous leurs systèmes géométriques, et comme axiome commun à tous, la considération d'une *collection de points distincts* (*). Or ce n'est là, qu'ils le veuillent ou non, pas autre chose qu'une définition de l'espace, c'est-à-dire ce qu'en principe ils croient pouvoir éviter; et cela ruine à la fois leur méthode et leur théorie.

Comme en toute erreur se cache une vérité, l'idée d'un choix *convenable* d' « axiomes » pour faire une géométrie, n'est qu'une déformation de celle qu'il faut une définition pour faire une théorie; mais le choix devrait ici porter non sur les axiomes, mais bien sur celui de la définition de l'espace lui-même, entre toutes les possibilités rationnelles; cette méthode ferait immédiatement reconnaître qu'il n'existe qu'*une seule définition possible* de l'espace, et l'on découvrirait dans ce fait, comme plusieurs fois déjà nous l'avons remarqué, la raison d'être du caractère singulier d'évidence que possède la géométrie, ou la science de l'espace. Ce caractère lui-même est un objet que la théorie est tenue d'expliquer.

Quant aux axiomes, ils ne sont nullement des propositions de base, qu'on peut choisir arbitrairement, mais bien des idées nécessaires, qu'il n'y a donc pas à choisir, mais auxquelles on est contraint par la raison, en partant de la définition, nécessaire aussi, de l'espace.

Il est donc bien établi par ce qui précède que la séparation du problème logique et du problème métaphysique en géométrie est une pure illusion, puisque ceux-là

(*) La distinction des points ne pourra se faire que par des indices ou nombres, lesquels sont, par nature, continus.

mêmes qui la proposent commencent, bien malgré eux, par ne pas savoir s'y tenir; et qu'ils n'accusent de faire de la métaphysique que ceux qui, à leur propre exemple cependant, donnent, mais cette fois consciemment et volontairement, une définition à l'objet qui va les occuper.

On peut donc considérer toutes ces tentatives méta-géométriques comme constituant elles-mêmes des épreuves par lesquelles, en élaguant ce qui échoue, on est de toutes parts ramené vers la vraie et unique conception séculaire de l'espace.

Il n'en est pas moins extraordinaire de voir la géométrie, ou plutôt d'éminents géomètres, s'écarter ainsi d'une règle qui est et restera toujours la base de toutes les sciences, savoir que pour édifier la théorie d'une science il faut d'abord une définition de son objet. En dehors de cette règle, il ne peut y avoir que mauvaise besogne, pour aboutir, c'est du moins notre impression, au lieu de l'ordre et de la clarté, au désordre et au gâchis.

7. A la question que formule le titre de cette note, question qui, par le trait caractéristique le plus frappant de l'espace, signale tout l'ensemble de la thèse que nous présentons, on peut donc répondre avec certitude que la raison pour laquelle le nombre des dimensions de l'espace est le nombre 3, est la raison très haute que *l'espace est, dans le monde créé, une réalisation intégrale des lois de la grandeur abstraite* (*).

(*) Tous les points de l'espace étant identiques, l'espace n'est susceptible d'aucun changement. L'existence des *phénomènes* prouve donc, à elle seule, celle d'un élément distinct, qui est la *substance*.

Il est d'ailleurs impossible de quitter le sujet sans souligner la portée de ce résultat pour notre conception de l'univers. Il porte un coup décisif à l'exagération de la tendance transformiste et à l'idée mal définie de l'évolution, en prouvant qu'à la base même du monde physique se trouve affirmée, dans son élément primordial, avec l'énergie et l'irréductibilité du nombre, l'existence de *données* SPÉCIFIQUES immuables.

La notion du transformisme et de l'évolution a, au cours du dernier siècle, entraîné dans son courant à peu près tout l'ensemble des branches de la science; la géométrie elle-même, les tendances métagéométriques en sont le témoin, n'a pas craint de compromettre, en y cédant, les bases les plus assurées d'une certitude et d'une autorité séculaires. Puisque le mouvement, en s'approfondissant, est venu jusqu'à elle, nous croyons qu'il lui incombe maintenant de le remonter en le redressant; et, conformément à sa nature, de donner sa vraie mesure et ses axes à l'édifice intellectuel dont elle est à la fois le premier terme et le fondement.

L'idée du *temps* est introduite d'une manière nécessaire par celle de l'impossibilité rationnelle, c'est-à-dire par l'*absurdité* de l'idée qu'un même point substantiel M occupe deux points distincts A, B de l'espace. Les occupations (MA) (MB) impliquent donc succession; c'est-à-dire que les deux *états* (MA) (MB) se *suivent*, non pas dans l'espace, mais dans quelque chose de différent, qu'on appellera le *temps*. L'existence du temps est donc la condition nécessaire du changement, c'est-à-dire des phénomènes.

—

Sur une sommation d'intégrales considérées en calcul des probabilités; par P. Mansion, professeur à l'Université de Gand.

1. *Objet de la présente note.* Soient m, n, μ, m', n', μ', M des nombres entiers tels que

$$m + n = \mu, \qquad m' + n' = \mu', \qquad \mu + \mu' = \mathrm{M};$$

p et q des fractions définies par les égalités $\mu p = m$, $\mu q = n$. Soient ensuite

$$m' = \mu' p + x, \qquad n' = \mu' q - x,$$

x variant par unités de 0 à $\pm \mu' l$, l étant une fraction tout au plus égale à la plus petite des quantités $\frac{1}{2} p$, $\frac{1}{2} q$, $\frac{1}{2} q$, par exemple.

Posons ensuite

$$\mathrm{C}_{\mu'}^{m'} = \frac{1.2\ldots\mu'}{1.2\ldots m'.1.2\ldots n'},$$

$$\mathrm{B} = \int_0^1 z^m (1-z)^n dz = \frac{1.2\ldots m.1.2\ldots n}{1.2\ldots\mu.\mu+1},$$

$$\mathrm{B}' = \int_0^1 z^{m+m'} (1-z)^{n+n'} = \frac{1.2\ldots m+m'.1.2\ldots n+n'}{1.2\ldots\mathrm{M}.\mathrm{M}+1},$$

$$\mathrm{T}_{\mu' p+x} = \mathrm{T}_{m'} = \mathrm{C}_{\mu'}^{m'} \mathrm{B}' : \mathrm{B}.$$

La somme

$$\mathrm{P} = \mathop{\mathrm{S}}_{x=-\mu l}^{x=\mu l} \mathrm{T}_{\mu' p+x}$$

exprime la probabilité *a posteriori* qu'un événement, dont la probabilité *a priori* peut varier de zéro à l'unité et qui est arrivé m fois en μ épreuves, se présentera à l'avenir m' fois sur μ' épreuves, la différence entre $(m : \mu)$ et $(m' : \mu')$ étant tout au plus égale à l.

Nous nous proposons de calculer une limite supérieure et une limite inférieure de $B' : B$ et de $T_{m'}$, une limite inférieure de P. On sait d'ailleurs que la somme P est inférieure à l'unité.

Laplace, dans la *Théorie analytique des probabilités* (n° 30, 3e édition, 1820, pp. 385-387), calcule une valeur approchée du $T_{m'}$; Poisson, dans la *Probabilité des jugements* (n° 87, p. 223, ou p. 188 de la traduction allemande), une valeur approchée de P. Mais, suivant l'usage de leur temps, ni l'un ni l'autre ne s'inquiètent d'enfermer ces expressions entre deux limites, l'une supérieure, l'autre inférieure; autrement dit, ils n'évaluent pas l'erreur commise dans l'évaluation de $T_{m'}$ et de P. L'évaluation précise de cette erreur est l'objet propre de la présente note.

2. *Limites de* $(B' : B)$. On a, comme l'on sait, d'après la formule de Stirling,

$$\sqrt{2\pi}\, r^{r+\frac{1}{2}} e^{-r} < 1.2\ldots r < \sqrt{2\pi}\, r^{r+\frac{1}{2}} e^{-r+\frac{1}{12r}}.$$

On déduit de là

$$B > \frac{\sqrt{2\pi}}{\mu+1} \frac{m^{m+\frac{1}{2}} n^{n+\frac{1}{2}}}{\mu^{\mu+\frac{1}{2}}} e^{-\frac{1}{12\mu}},$$

$$B < \frac{\sqrt{2\pi}}{\mu+1} \frac{m^{m+\frac{1}{2}} n^{n+\frac{1}{2}}}{\mu^{\mu+\frac{1}{2}}} e^{\frac{1}{12m}+\frac{1}{12n}}$$

De même,

$$B' > \frac{\sqrt{2\pi}}{M+1}\,\frac{(m+m')^{m+m'+\frac{1}{2}}(n+n')^{n+n'+\frac{1}{2}}}{M^{M+\frac{1}{2}}}\,e^{-\frac{1}{12M}},$$

$$B' < \frac{\sqrt{2\pi}}{M+1}\,\frac{(m+m')^{m+m'+\frac{1}{2}}(n+n')^{n+n'+\frac{1}{2}}}{M^{M+\frac{1}{2}}}\,e^{\frac{1}{12(m+m')}+\frac{1}{12(n+n')}}.$$

Par suite,

$$\frac{B'}{B} > \frac{\mu+1}{M+1}\,\frac{(m+m')^{m+m'+\frac{1}{2}}(n+n')^{n+n'+\frac{1}{2}}\mu^{\mu+\frac{1}{2}}}{M^{M+\frac{1}{2}}m^{m+\frac{1}{2}}n^{n+\frac{1}{2}}}.\,a,$$

$$a = e^{-\frac{1}{12M}-\frac{1}{12m}-\frac{1}{12n}},$$

$$\frac{B'}{B} < \frac{\mu+1}{M+1}\,\frac{(m+m')^{m+m'+\frac{1}{2}}(n+n')^{n+n'+\frac{1}{2}}\mu^{\mu+\frac{1}{2}}}{M^{M+\frac{1}{2}}m^{m+\frac{1}{2}}n^{n+\frac{1}{2}}}.\,b,$$

$$b = e^{\frac{1}{12(m+m')}+\frac{1}{12(n+n')}+\frac{1}{12\mu}}.$$

On démontre aisément les inégalités suivantes :

$$\frac{\mu+1}{M+1} > \frac{\mu}{M}, \qquad \frac{\mu+1}{M+1} < \frac{\mu^{\frac{1}{2}}}{M^{\frac{1}{2}}},$$

$$\frac{1}{M} = \frac{1}{\mu+\mu'} < \frac{1}{\mu} = \frac{1}{m+n} < \frac{1}{2m}+\frac{1}{2n},$$

$$\frac{1}{m+m'}+\frac{1}{n+n'} < \frac{1}{m}+\frac{1}{n}.$$

Il en résulte

$$\frac{1}{12(m+m')}+\frac{1}{12(n+n')}+\frac{1}{12\mu}$$

$$<\frac{1}{12m}+\frac{1}{12n}+\frac{1}{24m}+\frac{1}{24n}=\frac{1}{8m}+\frac{1}{8n},$$

$$\frac{1}{12M}+\frac{1}{12m}+\frac{1}{12n}<\frac{1}{24m}+\frac{1}{24n}+\frac{1}{12m}+\frac{1}{12n}=\frac{1}{8m}+\frac{1}{8n},$$

$$-\frac{1}{12M}-\frac{1}{12m}-\frac{1}{12n}>-\frac{1}{8m}-\frac{1}{8n}.$$

On a donc

$$a>e^{-\frac{1}{8m}-\frac{1}{8n}},\qquad b<e^{\frac{1}{8m}+\frac{1}{8n}},$$

Par suite,

$$\frac{B'}{B}>\sqrt{\frac{\mu}{M}}\,\frac{(m+m')^{m+m'+\frac{1}{2}}(n+n')^{n+n'+\frac{1}{2}}\mu^{\mu+1}}{M^{M+1}m^{m+\frac{1}{2}}n^{n+\frac{1}{2}}}e^{-\frac{1}{8m}-\frac{1}{8n}},$$

$$\frac{B'}{B}<\frac{(m+m')^{m+m'+\frac{1}{2}}(n+n')^{n+n'+\frac{1}{2}}\mu^{\mu+1}}{M^{M+1}m^{m+\frac{1}{2}}n^{n+\frac{1}{2}}}e^{\frac{1}{8m}+\frac{1}{8n}}.$$

En observant que

$$(m+m')^{m+m'+\frac{1}{2}}=m^{m+m'+\frac{1}{2}}\left(1+\frac{m'}{m}\right)^{m+m'+\frac{1}{2}},$$

$$(n+n')^{n+n'+\frac{1}{2}}=n^{n+n'+\frac{1}{2}}\left(1+\frac{n'}{n}\right)^{n+n'+\frac{1}{2}},$$

$$M^{M+1}=(\mu+\mu')^{M+1}=\mu^{M+1}\left(1+\frac{\mu'}{\mu}\right)^{M+1},$$

puis que $p = \frac{m}{\mu}$, $q = \frac{n}{\mu}$, on trouve

$$\frac{B'}{B} > \sqrt{\frac{m}{M}}\, p^{m'} q^{n'} \frac{\left(1 + \frac{m'}{m}\right)^{m+m'+\frac{1}{2}} \left(1 + \frac{n'}{n}\right)^{n+n'+\frac{1}{2}}}{\left(1 + \frac{\mu'}{\mu}\right)^{\mu+\mu'+1}} e^{-\frac{1}{8m} - \frac{1}{8n}},$$

$$\frac{B'}{B} < \quad p^{m'} q^{n'} \frac{\left(1 + \frac{m'}{m}\right)^{m+m'+\frac{1}{2}} \left(1 + \frac{n'}{n}\right)^{n+n'+\frac{1}{2}}}{\left(1 + \frac{\mu'}{\mu}\right)^{\mu+\mu'+1}} e^{\frac{1}{8m} + \frac{1}{8n}}.$$

Ces valeurs sont évidemment très voisines de $p^{m'} q^{n'}$ si m, n sont de grands nombres comparativement à m', n'.

3. *Limites de* $T_{\mu' p+x}$. Au moyen de la formule de Stirling, on établit sans peine les inégalités

$$C_{\mu'}^{m'} > \frac{1}{\sqrt{2\pi\mu'}} \frac{\mu'^{\mu'+1}}{m'^{m'+\frac{1}{2}} n'^{n'+\frac{1}{2}}} e^{-\frac{1}{12m'} - \frac{1}{12n'}},$$

$$C_{\mu'}^{m'} < \frac{1}{\sqrt{2\pi\mu'}} \frac{\mu'^{\mu'+1}}{m'^{m'+\frac{1}{2}} n'^{n'+\frac{1}{2}}} e^{\frac{1}{12\mu'}}.$$

Posons

$$C = \frac{\mu'^{\mu'+1}}{m'^{m'+\frac{1}{2}} n'^{n'+\frac{1}{2}}} \frac{(m + m')^{m+m'+\frac{1}{2}} (n + n')^{n+n'+\frac{1}{2}}}{M^{M+1}} \frac{\mu^{\mu+1}}{m^{m+\frac{1}{2}} n^{n+\frac{1}{2}}}.$$

Puisque

$$T_{\mu' p+x} = C_{\mu'}^{m'} \frac{B'}{B},$$

on aura évidemment

$$T_{\mu' p+x} > \frac{1}{\sqrt{2\pi\mu'}} \sqrt{\frac{\mu}{M}}\, C\, e^{-\frac{1}{8m}-\frac{1}{8n}-\frac{1}{12m'}-\frac{1}{12n'}},$$

$$T_{\mu' p+x} < \frac{1}{\sqrt{2\pi\mu'}}\, C\, e^{\frac{1}{8m}+\frac{1}{8n}+\frac{1}{12\mu'}}.$$

On a

$$\frac{1}{8m} + \frac{1}{8n} = \frac{1}{8\mu p} + \frac{1}{8\mu q} = \frac{1}{8\mu pq},$$

$$\frac{1}{12m'} + \frac{1}{12n'} = \frac{\mu'}{12m'n'} = \frac{\mu'}{12(\mu' p + x)(\mu' q - x)}.$$

Puisque x est tout au plus égal à $\mu' l$, et l au plus égal à $\frac{1}{2} q$ supposé inférieur ou égal à $\frac{1}{2} p$, on a

$$m'n' \overline{\overline{>}} (\mu' p + \mu' l)(\mu' q - \mu' l) \overline{\overline{>}} \mu'^2 (p + \tfrac{1}{2} q)(q - \tfrac{1}{2} q)$$
$$= \tfrac{1}{4} \mu'^2 (1 + p) q > \tfrac{1}{2} \mu'^2 pq.$$

Donc

$$\frac{\mu'}{12m'n'} < \frac{\mu'}{6\mu'^2 pq} = \frac{1}{6\mu' pq}, \quad -\frac{\mu'}{12m'n'} > -\frac{1}{6\mu' pq}.$$

Par conséquent,

$$T_{\mu' p+x} > \frac{1}{\sqrt{2\pi\mu'}} \sqrt{\frac{\mu}{M}}\, C\, e^{-\frac{1}{8\mu pq}-\frac{1}{6\mu' pq}}.$$

Mais on sait que $e^{-\alpha}$ surpasse $1 - \alpha$, si α est positif. Donc

$$e^{-\frac{1}{8\mu pq}-\frac{1}{6\mu' pq}} > 1 - \frac{1}{8\mu pq} - \frac{1}{6\mu' pq}.$$

De même, si α est égal ou inférieur à $\frac{1}{2}$, on a

$$e^{\alpha} = \frac{1}{e^{-\alpha}} < \frac{1}{1-\alpha} \leqq 1 + 2\alpha.$$

Par suite,

$$e^{\frac{1}{8m}+\frac{1}{8n}+\frac{1}{12\mu'}} = e^{\frac{1}{8\mu pq}+\frac{1}{12\mu'}} < 1 + \frac{1}{4\mu pq} + \frac{1}{6\mu'}.$$

On a donc enfin

$$T_{\mu' p+x} > \frac{1}{\sqrt{2\pi\mu'}} \sqrt{\frac{\mu}{M}}\, C\left(1 - \frac{1}{8\mu pq} - \frac{1}{6\mu' pq}\right),$$

$$T_{\mu' p+x} > \frac{1}{\sqrt{2\pi\mu'}}\, C\left(1 + \frac{1}{4\mu pq} + \frac{1}{6\mu'}\right).$$

Ce sont les deux limites cherchées de $T_{\mu' p+x}$.

On peut mettre

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi\mu'}}\, C$$

sous une autre forme, en se servant des relations

$$m = \mu p, \qquad n = \mu q, \qquad m' = \mu' p + x, \qquad n' = \mu' q - x.$$

On trouve ainsi

$$\frac{\mu'^{\mu'+1}}{m'^{m'+\frac{1}{2}} n'^{n'+\frac{1}{2}}} = \frac{1}{p^{\mu' p+x+\frac{1}{2}} q^{\mu' q-x+\frac{1}{2}} \left(1 + \frac{x}{\mu' p}\right)^{\mu' p+x+\frac{1}{2}} \left(1 - \frac{x}{\mu' q}\right)^{\mu' q-x+\frac{1}{2}}},$$

$$\frac{(m+m')^{m+m'+\frac{1}{2}} (n+n')^{n+n'+\frac{1}{2}}}{M^{M+1}}$$

$$= p^{Mp+x+\frac{1}{2}} q^{Mq-x+\frac{1}{2}} \left(1 + \frac{x}{Mp}\right)^{Mp+x+\frac{1}{2}} \left(1 - \frac{x}{Mq}\right)^{Mq-x+\frac{1}{2}};$$

$$\frac{\mu^{\mu+1}}{m^{m+\frac{1}{2}}n^{n+\frac{1}{2}}} = \frac{1}{p^{\mu p+\frac{1}{2}}q^{\mu q+\frac{1}{2}}},$$

puis

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi\mu}}\,C = \frac{1}{\sqrt{2\pi\mu' pq}}\,\frac{\left(1+\frac{x}{Mp}\right)^{Mp+x+\frac{1}{2}}\left(1-\frac{x}{Mq}\right)^{Mq-x+\frac{1}{2}}}{\left(1+\frac{x}{\mu' p}\right)^{\mu' p+x+\frac{1}{2}}\left(1-\frac{x}{\mu' q}\right)^{\mu' q-x+\frac{1}{2}}}.$$

Pour abréger, nous écrirons

$$t_{\mu' p+x} = \frac{\left(1+\frac{x}{Mp}\right)^{Mp+x+\frac{1}{2}}\left(1-\frac{x}{Mq}\right)^{Mq-x+\frac{1}{2}}}{\left(1+\frac{x}{\mu' p}\right)^{\mu' p+x+\frac{1}{2}}\left(1-\frac{x}{\mu' q}\right)^{\mu' -qx+\frac{1}{2}}}.$$

Alors on aura

$$T_{\mu' p+x} > \frac{1}{\sqrt{2\pi\mu' pq}}\sqrt{\frac{\mu}{M}}\left(1-\frac{1}{8\mu pq}-\frac{1}{6\mu' pq}\right)t_{\mu' p+x},$$

$$T_{\mu' p+x} < \frac{1}{\sqrt{2\pi\mu' pq}}\left(1+\frac{1}{4\mu pq}+\frac{1}{6\mu'}\right)t_{\mu' p+x}.$$

La première inégalité seule nous servira dans la suite. Pour simplifier les écritures, nous écrirons

$$c = 1-\frac{1}{8\mu pq}-\frac{1}{6\mu' pq}.$$

4. *Limite inférieure de* $t_{\mu' p+x} + t_{\mu' p-x}$. On a

$$t_{\mu' p+x} + t_{\mu' p-x} > 2\sqrt{t_{\mu' p+x} \cdot t_{\mu' p-x}}.$$

Posons

$$t_{\mu' p+x} \cdot t_{\mu' p-x} = e^v, \qquad \sqrt{t_{\mu' p+x} \cdot t_{\mu' p-x}} = e^{\frac{1}{2}v}$$

$$v = \left(Mp + x + \frac{1}{2}\right) \log\left(1 + \frac{x}{Mp}\right) + \left(Mp - x + \frac{1}{2}\right) \log\left(1 + \frac{x}{Mp}\right)$$

$$- \left(\mu' p + x + \frac{1}{2}\right) \log\left(1 + \frac{1}{\mu' p}\right) - \left(\mu' p - x + \frac{1}{2}\right) \log\left(1 - \frac{x}{\mu' p}\right) + \text{etc.},$$

etc. désignant ici et plus bas des termes en q analogues aux termes en p.

On trouve, en dérivant v par rapport à x,

$$v' = \log\left(1 + \frac{x}{Mp}\right) + \frac{1}{2}\frac{1}{Mp + x} - \log\left(1 - \frac{x}{Mp}\right) - \frac{1}{2}\frac{1}{Mp - x}$$

$$- \log\left(1 + \frac{x}{\mu' p}\right) - \frac{1}{2}\frac{1}{\mu' p + x} + \log\left(1 - \frac{x}{\mu' p}\right) + \frac{1}{2}\frac{1}{\mu' p - x} + \text{etc.};$$

$$v'' = \frac{1}{Mp + x} - \frac{1}{2}\frac{1}{(Mp + x)^2} + \frac{1}{Mp - x} - \frac{1}{2}\frac{1}{(Mp - x)^2}$$

$$- \frac{1}{\mu' p + x} + \frac{1}{2}\frac{1}{(\mu' p + x)^2} - \frac{1}{\mu' p - x} + \frac{1}{2}\frac{1}{(\mu' p - x)^2} + \text{etc.}$$

On a évidemment, puisque μ' est inférieur à M,

$$v'' > \frac{1}{Mp + x} + \frac{1}{Mp - x} - \frac{1}{\mu' p + x} - \frac{1}{\mu' p - x} + \text{etc.}$$

$$= \frac{2Mp}{M^2 p^2 - x^2} - \frac{2\mu' p}{\mu'^2 p^2 - x^2} + \text{etc.}$$

$$v'' > \frac{2}{Mp}\left[1 + \frac{x^2}{M^2p^2} + \cdots\right] - \frac{2}{\mu' p}\left[1 + \frac{x^2}{\mu'^2p^2} + \cdots\right] + \text{etc.}$$

$$> \frac{2}{Mp} - \frac{2}{\mu' p}\left[1 + \frac{4}{3}\frac{x^2}{\mu'^2p^2}\right] + \frac{2}{Mq} - \frac{2}{\mu' q}\left[1 + \frac{4}{3}\frac{x^2}{\mu'^2q^2}\right]$$

$$= \frac{2}{Mpq} - \frac{2}{\mu' pq} - \frac{8}{3}\frac{x^2(p^3 + q^3)}{\mu'^3p^3q^3}$$

$$> \frac{2}{Mpq} - \frac{2}{\mu' pq} - \frac{8}{3}\frac{x^2}{\mu'^3p^3q^3} = -\frac{2}{\mu' pq}\frac{\mu}{M} - \frac{8}{3}\frac{x^2}{\mu'^3p^3q^3}.$$

Comme v et v' s'annulent, pour $x = 0$, on trouve, en intégrant de 0 à x,

$$v' > -\frac{2x}{\mu' pq}\frac{\mu}{M} - \frac{8}{9}\frac{x^3}{\mu'^3p^3q^3},$$

$$v > -\frac{x^2}{\mu' pq}\frac{\mu}{M} - \frac{2}{9}\frac{x^4}{\mu^3p^3q^3}.$$

On a donc

$$t_{\mu' p+x} + t_{\mu' p-x} > 2e^{\frac{1}{2}v} = 2e^{-\frac{x^2}{2\mu' pq}\frac{\mu}{M} - \frac{1}{9}\frac{x^4}{\mu'^3p^3q^3}},$$

et, par suite,

$$t_{\mu' p+x} + t_{\mu' p-x} > 2e^{-\frac{x^2}{2\mu' pq}\frac{\mu}{M}}\left(1 - \frac{1}{9}\frac{x^4}{\mu'^3p^3q^3}\right).$$

5. *Limite inférieure de* P. On a, puisque $t_{\mu p} = 1$,

$$P = \mathop{S}_{x=-\mu' l}^{x=+\mu' l} T_{\mu' p+x} > \frac{c}{\sqrt{2\pi\mu' pq}}\sqrt{\frac{\mu}{M}}\mathop{S}_{x=-\mu' l}^{x=+\mu' l} t_{\mu' p+x}$$

$$= \frac{2c}{\sqrt{2\pi\mu' pq}}\sqrt{\frac{\mu}{M}}\left[\mathop{S}_{x=0}^{x=\mu' l}(t_{\mu p+x} + t_{\mu p-x}) - \frac{1}{2}\right],$$

$$P > \frac{2c}{\sqrt{2\pi\mu' pq}} \sqrt{\frac{\mu}{M}} \left[\mathop{S}_{x=0}^{x=\mu' l} e^{-\frac{x^2}{2\mu' pq}\frac{\mu}{M}} \left(1 - \frac{1}{9}\frac{x^4}{\mu^5 p^3 q^3}\right) - \frac{1}{2}\right],$$

et, *a fortiori*, comme on le voit, en recourant à une représentation géométrique,

$$P > \frac{2c}{\sqrt{2\pi\mu' pq}} \sqrt{\frac{\mu}{M}} \left[\int_0^{\mu' l} e^{-\frac{x^2}{2\mu' pq}\frac{\mu}{M}} \left(1 - \frac{1}{9}\frac{x^4}{\mu'^3 p^3 q^3}\right) dx - \frac{1}{2}\right].$$

Posons

$$t^2 = \frac{\mu x^2}{2\mu' pqM}, \quad T = l\sqrt{\frac{\mu'}{2pq}}\sqrt{\frac{\mu}{M}} = l\sqrt{\frac{\mu\mu'}{2pq(\mu+\mu')}},$$

il viendra

$$P > \frac{2c}{\sqrt{\pi}} \int_0^T e^{-t^2} dt - \frac{8c}{9\sqrt{\pi}} \frac{M^2}{\mu^2 \mu' pq} \int_0^T e^{-t^2} t^4 dt - \frac{c}{\sqrt{2\pi\mu' pq}} \sqrt{\frac{\mu}{M}}.$$

La seconde intégrale peut être remplacée par l'intégrale plus grande

$$\frac{8c}{9\sqrt{\pi}} \frac{M^2}{\mu^2 \mu' pq} \int_0^\infty e^{-t^2} t^4 dt,$$

sans que l'inégalité cesse d'exister. Or, si l'on pose $t^2 = u$,

$$\int_0^\infty e^{-t^2} t^4 dt = \frac{1}{2} \int_0^\infty e^{-u} u^{\frac{5}{2}} du = \frac{1}{2}\Gamma\left(\frac{5}{2}\right) = \frac{1}{2}\cdot\frac{3}{2}\cdot\frac{1}{2}\sqrt{\pi} = \frac{3}{8}\sqrt{\pi}.$$

Il résulte de là que

$$P > \frac{2c}{\sqrt{\pi}} \int_0^T e^{-t^2} dt - \frac{1}{3} \frac{M^2}{\mu^2 \mu' pq} - \frac{c}{\sqrt{2\pi\mu' pq}} \sqrt{\frac{\mu}{M}}.$$

On a

$$\frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^T e^{-t^2} dt < 1, \qquad c = 1 - \frac{1}{8\mu pq} - \frac{1}{6\mu' pq} < 1.$$

Par conséquent,

$$P > \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^T e^{-t^2} dt - \frac{1}{8\mu pq} - \frac{1}{6\mu' pq} - \frac{1}{3} \frac{M^2}{\mu^2 \mu' qq} - \frac{1}{\sqrt{2\pi\mu' pq}} \sqrt{\frac{\mu}{M}}.$$

On a ensuite

$$\frac{1}{3} \frac{M^2}{\mu^2 \mu' pq} = \frac{1}{3pq} \frac{\mu^2 + 2\mu\mu' + \mu'^2}{\mu^2 \mu'} = \frac{1}{3\mu' pq} + \frac{2}{3\mu pq} + \frac{\mu'}{3\mu pq}.$$

Donc, enfin, en introduisant cette valeur dans l'inégalité précédente,

$$P > \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^T e^{-t^2} dt - \frac{19}{24\mu pq} - \frac{1}{2\mu' pq} - \frac{1}{3} \frac{\mu'}{\mu pq} - \frac{1}{\sqrt{2\pi\mu' pq}} \sqrt{\frac{\mu}{M}}.$$

Si μ et μ' sont de grands nombres, P est très voisin de l'unité.

—

Sur la synthèse de l'acide stéarique par les décharges électriques; par Alexandre de Hemptinne.

J'ai commencé, il y a environ neuf ans, une étude méthodique de l'action de l'effluve ou plutôt des décharges et des vibrations électriques sur les combinaisons et les décompositions chimiques. J'ai organisé à cette époque un laboratoire pourvu d'appareils et d'installations pouvant réaliser dans les meilleures conditions le but que je me proposais. Parmi les différentes sources d'énergie électrique que j'ai employées, je citerai la machine statique de Whimshurst, la bobine de Ruhmkorff et, enfin, pour les recherches nécessitant une énergie plus grande, un alternateur de deux chevaux, mû par un moteur à gaz.

J'ai signalé maintes fois dans mes publications antérieures les influences multiples et variées dont dépendent les combinaisons et les décompositions chimiques effectuées par la décharge électrique; si je reviens un instant sur le passé, c'est parce que les résultats assez importants auxquels je suis parvenu sont la conséquence de mes travaux précédents.

Berthelot a trouvé, il y a longtemps déjà, que la benzine et l'essence de térébenthine soumises à l'action des effluves électriques, dans une atmosphère d'hydrogène, fixent ce gaz. Il se forme des composés complexes et des polymères solides résineux.

A part Berthelot, je ne sache pas que d'autres savants se soient occupés de fixer l'hydrogène sur les liquides organiques par l'action des effluves électriques.

Cette action de la décharge électrique me semblant

intéressante, j'en ai commencé l'étude approfondie au mois de novembre 1902. J'ai débuté par l'examen de la transformation que subit l'acide oléique soumis à l'action des décharges électriques dans une atmosphère d'hydrogène. Cette étude présente, à différents points de vue, un grand intérêt. L'acide oléique, acide non saturé de la série grasse, diffère de l'acide stéarique par deux atomes d'hydrogène; selon toute probabilité, on pouvait s'attendre à une réaction exprimée par la formule

$$C_{18}H_{34}O_2 + H_2 = C_{18}H_{36}O_2,$$

c'est-à-dire à la formation d'une quantité notable d'acide stéarique.

Après avoir mouillé avec de l'acide oléique pur les parois d'un ozonateur de Berthelot et rempli celui-ci d'hydrogène, je fis passer pendant plusieurs heures, entre les parois du tube, la décharge d'une bobine de Ruhmkorff; au bout de ce temps, un léger dépôt blanchâtre s'était formé sur le verre. Si ces résultats étaient encourageants, la quantité de substance était pourtant trop petite pour déterminer si réellement le corps formé était de l'acide stéarique.

J'entrepris alors de faire des recherches dans de meilleures conditions et en employant les puissantes sources d'énergie dont je disposais dans mon laboratoire.

Grâce à mes appareils, j'ai pu opérer sur assez de substance pour en séparer une quantité notable d'acide stéarique nettement caractérisé par ses propriétés physiques.

Description des expériences.

La figure 1 représente une coupe de l'appareil et la figure 2 une vue d'en haut du dispositif que j'ai employé. Il se compose d'une cuve en verre très épais; la cuve a

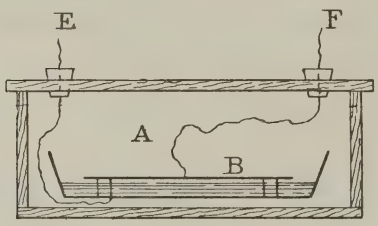


Fig. 1.

7 centimètres de profondeur, 27 centimètres de longueur et 23 de largeur; elle peut être fermée hermétiquement par une plaque en verre rodée sur les bords; dans cette

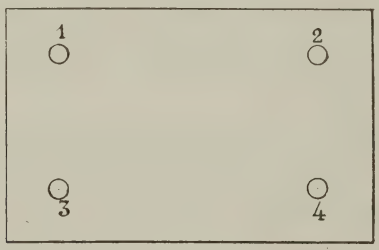


Fig. 2.

plaque sont percés quatre trous : 1, 2, 3, 4 (fig. 2). Au moyen de bouchons en caoutchouc, j'ai fixé dans 1 une électrode, et dans 2, un robinet; dans 3, une autre électrode, et dans 4, un manomètre. Dans le bac, j'ai placé

une cuvette photographique en verre A, dimensions : 13 × 18. Une feuille de papier d'étain était collée sur le fond et à l'extérieur de la cuvette et reliée à l'électrode E. Dans la cuvette, j'ai mis 50 centimètres cubes d'acide oléique pur et au-dessus de celui-ci, à quelques millimètres de la surface du liquide, une plaque en verre B. Une feuille d'étain collée sur la face supérieure était reliée à l'électrode F. Les électrodes E et F étaient reliées aux fils du dispositif de Tesla. Le bac en verre étant rempli d'hydrogène à la pression à laquelle je voulais opérer, j'ai fait passer les effluves entre le fond de la cuvette A et la plaque B ; l'espace compris entre la plaque B et la surface du liquide était lumineux, le liquide était plus ou moins fortement agité. En observant le niveau du mercure du manomètre, j'ai constaté qu'il y avait une absorption de l'hydrogène. Au bout de dix heures, l'acide oléique liquide contenu dans la cuvette était transformé en une substance blanche pâteuse ayant l'aspect de l'acide stéarique mêlé d'acide oléique. L'analyse du produit faite par la méthode de Hübl a donné un indice d'iode qui indiquait une transformation d'environ 50 % de l'acide oléique en un autre produit moins fluide. Les recherches analytiques ont été poussées plus loin par la méthode des sels de plomb. Mon assistant, M. L. Servais, a séparé une quantité très notable d'acide stéarique nettement caractérisé par ses propriétés physiques. Ces résultats m'ont encouragé à poursuivre mes recherches et à étudier l'influence des conditions où l'on opère. Parmi ces influences dont j'ai déjà parlé maintes fois dans d'autres travaux, je signalerai la nature de la décharge, la distance des parois, la pression du gaz, la tension électrique, etc. Afin d'exécuter des expériences sur

une grande échelle, j'ai fait construire des appareils appropriés assez grands pour contenir 10 litres de substance. Je n'ai plus employé alors de l'acide oléique chimiquement pur, qui est un produit coûteux, mais de l'acide oléique commercial relativement pur. L'analyse de cet acide, faite au préalable, a indiqué certaine teneur d'acide stéarique dont j'ai eu soin de tenir compte. Afin de calculer le rapport entre l'énergie électrique dépensée et la quantité d'acide oléique transformée, j'ai mesuré, d'une part au moyen d'un wattmètre, l'énergie électrique employée et, d'autre part, déterminé le poids de substance transformée en prenant l'indice d'iode. Toute la substance n'est sans doute pas transformée en acide stéarique, il y a d'autres substances formées, en plus ou moins grande quantité. Mais en tous cas, il y a une grande quantité d'acide stéarique produite.

Je ne crois pas encore le moment venu de donner le détail de ces recherches longues et laborieuses, demandant beaucoup de tâtonnements et nécessitant de nombreuses analyses.

Celles-ci ont été faites en partie par moi et par mon assistant M. Servais; je tiens ici à lui exprimer mes remerciements pour les services qu'il m'a rendus. Je me bornerai à indiquer le résultat assez remarquable auquel je suis arrivé.

Si je représente par 1 le rendement obtenu lors de mes premières expériences, c'est-à-dire le nombre de grammes produits par unité d'énergie électrique, je suis arrivé actuellement à un rendement environ vingt fois plus grand; ce fait démontre à l'évidence l'influence énorme des conditions où l'on opère.

Parmi celles-ci, je signalerai l'influence de la pression

comme très notable; lorsqu'elle est inférieure à la pression atmosphérique, les réactions s'effectuent beaucoup mieux.

Considérations théoriques. — Sans vouloir m'aventurer beaucoup sur le terrain théorique, je veux pourtant, en me basant sur l'expérience acquise, donner quelques indications d'un caractère très général sur les éléments du problème de la synthèse des corps par les décharges électriques.

La décharge est accompagnée de la production d'ions ou d'électrons, comme on veut les appeler.

Je choisis ce dernier terme pour désigner des particules électrisées, distinctes des ions obtenus par la dissolution des substances dans l'eau.

On est généralement d'accord pour attribuer aux électrons négatifs une masse très petite; ils constituent les rayons cathodiques et sont émis par les substances radioactives; ils semblent également jouer un rôle dans le phénomène de Zeeman.

Les électrons positifs qui forment les rayons canaux ont des masses beaucoup plus grandes et même, d'après des travaux récents (1), la façon dont les rayons canaux se comportent dans le champ magnétique indique la formation d'édifices moléculaires complexes et de poids assez élevé.

Sous l'influence des forces électriques, les électrons se meuvent et se rencontrent dans la masse gazeuse ou à la surface du liquide; ces particules, qui possèdent une énergie électrique potentielle plus ou moins grande,

---

(1) W. Wien, *Ann. der Physik*, 1904, p. 675.

constituent, par ce fait, une matière en quelque sorte plus active et en voie d'évolution, comme semble aussi le prouver la transformation des émanations du bromure de radium en hélium. L'évolution et la rencontre des électrons positifs et négatifs ont pour conséquence la formation de composés nouveaux, d'un poids moléculaire généralement plus élevé, et souvent il y a une formation abondante de produits polymères. Nous ne connaissons qu'imparfaitement la nature et la manière d'être des électrons, mais on admettra aisément que les conditions dans lesquelles ils se forment et se rencontrent, c'est-à-dire la tension électrique, la nature de la décharge, la pression du gaz et l'espace libre parcouru, pourront avoir une influence considérable sur la quantité et sur la qualité des produits obtenus par la décharge; c'est d'ailleurs ce que l'expérience m'a toujours prouvé.

A mesure que notre connaissance des phénomènes si compliqués de la décharge électrique dans les gaz deviendra plus complète et que nous connaîtrons mieux la nature des électrons, leurs propriétés et leur manière d'être, nous deviendrons graduellement mieux à même de diriger rationnellement les synthèses qui peuvent s'effectuer par la méthode à la fois si énergique et si délicate de la décharge électrique. Je ne veux pas parler de la décharge brutale du four électrique, mais de la décharge si sensible qui se produit dans des atmosphères gazeuses plus ou moins raréfiées. Et peut-être dans un temps peu éloigné verrons-nous des applications industrielles nombreuses de nos connaissances acquises. Ce sera alors la preuve que nous sommes réellement maîtres de diriger les réactions comme nous le voulons.

Gand, le 10 avril 1904.

—

Les lois de l'ergographie. — *Étude physiologique et mathématique;* par Mlle J. Ioteyko, docteur en médecine, chef de laboratoire à l'Université de Bruxelles.

INTRODUCTION.

Si nous avions une connaissance plus approfondie de l'acte musculaire, des actions nerveuses qui déterminent le mouvement, ainsi que des variations dynamiques et chimiques que subit le système neuro-musculaire en fonction du temps lors de son activité, nous pourrions avoir tous les éléments nécessaires pour l'établissement d'une loi mathématique de l'effort et de la fatigue. C'est ainsi qu'ont procédé les sciences physiques chaque fois qu'elles ont été à la veille d'arriver à l'apogée de leur développement.

Mais nos connaissances actuelles ne nous permettent pas encore de poser une équation théorique de l'effort. Devons-nous en conclure que l'intervention des mathématiques est pour le moins inutile dans l'état actuel des sciences biologiques? Nous tâcherons de montrer que cette intervention a une portée extraordinairement grande, car, à défaut d'une équation théorique, on peut toujours poser une équation empirique, qui est l'expression la plus rigoureuse des faits trouvés expérimentalement.

Les lois physiologiques sont susceptibles d'être exprimés par des courbes. Or, toute courbe peut être attaquée par les méthodes mathématiques et étudiée par les pro-

cédés multiples dont disposent ces sciences. Trouver l'équation d'une courbe, c'est trouver la loi suivant laquelle évoluent les phénomènes portés en abscisses et en ordonnées.

Les rapports entre ces phénomènes peuvent être complexes, et c'est ici qu'intervient la nécessité d'études mathématiques pour fixer ces rapports. En physiologie, on se contente le plus souvent d'indiquer le *sens* suivant lequel se déroulent les phénomènes; ainsi on dit que b grandit quand a grandit, ou bien que b grandit quand a diminue. Mais une affirmation pareille est non seulement insuffisante; elle est même souvent défectueuse. Elle fait supposer qu'une loi de proportionnalité directe ou inverse relie les deux phénomènes observés, alors qu'en réalité leur rapport peut être beaucoup plus complexe. Cette idée de proportionnalité est même tellement ancrée chez certains esprits, qu'elle fait commettre des erreurs involontaires très graves. Ainsi, on parle souvent de la mesure d'un phénomène par un autre, alors qu'en réalité on ne connaît pas les rapports qui les relient entre eux. La proportionnalité s'exprime par une ligne droite, et la fonction cherchée dans ces cas peut s'exprimer par une parabole, une hyperbole ou toute autre courbe.

Prenons un exemple parmi les faits connus. Que dirait-on d'un observateur qui, désirant connaître les lois de la croissance, se contenterait de prendre le poids d'un individu au moment de sa naissance, à un moment quelconque, et ensuite au moment où il aurait acquis le maximum d'accroissement? En réunissant ces trois points d'observation par une ligne, il pourrait obtenir une droite, et il en conclurait que le poids du corps aug-

mente proportionnellement au temps. Or, s'il avait les points intermédiaires, il verrait que l'accroissement du poids n'est pas proportionnel à l'âge, et que la fonction cherchée est infiniment plus complexe.

Prenons un autre exemple. Weber et Fechner seraient-ils parvenus à établir une loi psycho-physique s'ils s'étaient contentés de dénombrer une série de sensations produites par une série d'excitations prises au bas de l'échelle? Ils auraient conclu que la sensation croît avec l'excitation, ce qui serait exact dans ces limites étroites, mais nullement vrai dans de plus larges limites. C'est en poursuivant les rapports qui existent entre la sensation et l'excitation sur une grande échelle des excitations que la loi logarithmique qui relie ces deux phénomènes a pu être trouvée, et encore cette loi ne se vérifie-t-elle plus rigoureusement quand on étudie les excitations extrêmement grandes.

Le plus souvent, on ne soumet pas à l'analyse mathématique les courbes obtenues; bien plus, on n'étudie pas assez à fond les phénomènes pour recueillir les matériaux indispensables pour obtenir des courbes. Et par courbes, j'entends ici l'expression graphique de la fonction qui relie deux quantités entre elles, la fonction devant être recherchée depuis son origine jusqu'à sa fin, en passant par tous les points intermédiaires.

En physiologie, nous possédons quelques fonctions étudiées de cette façon : ainsi l'élasticité musculaire, c'est-à-dire la courbe des allongements successifs du muscle en rapport avec les différents poids. La courbe de l'élasticité musculaire serait une hyperbole (Wertheim). Ces études devraient être généralisées.

L'étude des différentes fonctions physiologiques montre, en effet, que la proportionnalité directe entre les phénomènes est extrêmement rare; il en est de même dans le domaine psychologique; on a le plus souvent affaire à des hyperboles, à des paraboles et à des exponentielles.

Mais comme, à l'heure actuelle, l'éducation mathématique des biologistes est, en général, insuffisante, il y a tout intérêt pour la science à réunir les efforts combinés des biologistes et des mathématiciens en vue d'une étude plus approfondie des lois qui règlent les phénomènes de la vie. Les phénomènes physiologiques, comme tous les phénomènes, sont soumis à des lois qui s'expriment par des courbes, qui sont toujours les mêmes quand les conditions sont identiques. Avec un changement dans les conditions, les courbes se modifient; mais ces modifications sont aussi définissables par les procédés mathématiques; en outre, la modification mathématique pourra servir de mesure à la modification biologique. Il en résulte que les méthodes mathématiques pourront non seulement exprimer par des lois des phénomènes déjà bien étudiés, mais que, dans un grand nombre de circonstances, elles pourront être employées comme une méthode de recherches en physiologie.

C'est ce qu'a bien compris M. Ernest Solvay, en fondant, il y a deux ans, dans le but de résoudre un certain nombre de problèmes déterminés, un laboratoire d'énergétique près l'Institut de physiologie de Bruxelles (*). Ce laboratoire a produit entre autres travaux :

(*) Ernest Solvay, *Note sur les formules d'introduction à l'énergétique physio- et psycho-sociologique.* Bruxelles, 1902.

les recherches de Mlle Stefanowska (*) sur les lois de la croissance, qui établissent un lien nouveau et rigoureusement mathématique entre le monde animal et le monde végétal, en continuant la voie tracée par Claude Bernard dans ses recherches sur les phénomènes de la vie communs aux animaux et aux végétaux; les travaux du Dr Léopold Mayer sur la courbe de CO^2 excrété en fonction de l'âge chez les diverses espèces animales (**); les travaux de Ch. Henry et de L. Bastien, sur un critérium d'irréductibilité dans les ensembles statistiques, critérium immédiatement applicable à des problèmes de biométrie (***); de Ch. Henry, sur le travail statique (^iv); mes recherches faites avec Ch. Henry sur le travail statique et dynamique et sur leur équivalence énergétique (^v), ainsi que sur l'expression mathématique des courbes de

---

(*) Micheline Stefanowska, *Sur la croissance en poids de la souris blanche.* (Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, 4 mai 1903.) — Ibid., *Sur la croissance en poids des végétaux.* (Ibid., 1er février 1904.)

(**) Léopold Mayer, *Sur les modifications du chimisme respiratoire avec l'âge, en particulier chez le cobaye.* (Ibid., 13 juillet 1903.) — Idem, *Sur les modifications du chimisme respiratoire avec l'âge, en particulier chez le poulet et le canard.* (Bulletin de la Société des sciences médicales et naturelles de Bruxelles, n° 4, 1904.)

(***) Ch. Henry et Louis Bastien, *Sur un critérium d'irréductibilité dans les ensembles statistiques.* (Comptes rendus, 15 juin 1903.)

(^iv) Ch. Henry, *Sur le travail statique du muscle.* (Ibid., 5 janvier 1903.) — Idem, *Nouvelles recherches sur le travail statique du muscle.* (Ibid., 5 avril 1904.)

(^v) Ch. Henry et J. Ioteyko, *Sur une relation entre le travail et le travail dit statique, énergétiquement équivalents à l'ergographe.* (Ibid., 28 décembre 1903.)

fatigue (*); mes expériences sur les modifications des constantes ergographiques (**), développées dans le présent mémoire. Je dois mentionner encore un travail fait par un des élèves du laboratoire, M. Schouteden (***), sur l'ergographie de la main droite et de la main gauche, et dont l'interprétation mathématique sera consignée ici.

Le présent mémoire est consacré à la solution de diverses questions ergographiques qui me préoccupent depuis plusieurs années.

J'ai mis à profit toutes mes anciennes expériences, déjà très nombreuses; mais je ne me suis pas arrêtée là. En possession de la formule ci-dessus mentionnée, qui exprime la décroissance de l'effort en fonction du temps, j'ai emprunté à l'expérience autant de matériaux que possible, afin d'appliquer la formule sur une large échelle et pour en tirer toutes les conséquences physiologiques. Les expériences ergographiques ont été faites sur mes élèves, étudiants à l'Université de Bruxelles, dont le complet dévouement mérite les plus grands éloges. Quant aux calculs, ils ont été faits par un collaborateur du laboratoire d'énergétique, M. H. Chrétien, de Paris.

Parmi les différents phénomènes physiologiques, les ergogrammes paraissent particulièrement susceptibles

---

(*) Ch. Henry et J. Ioteyko, *Sur une loi de décroissance de l'effort à l'ergographe.* (Comptes rendus, 30 mars 1903.) — Idem, *Sur l'équation générale des courbes de fatigue.* (Ibid., 24 août 1903.)

(**) J. Ioteyko, *Sur les modifications des constantes ergographiques dans diverses conditions expérimentales.* (Ibid., 24 mai 1904.)

(***) H. Schouteden, *Ergographie de la main droite et de la main gauche.* (Annales de la Société royale des sciences médicales et naturelles de Bruxelles, t. XIII, 1904, 27 p. et planche); voir aussi sur le même sujet, note de J. Ioteyko, dans le *Bulletin* de la même Société, séance du 1er février 1904.

d'une définition mathématique; ils sont constitués, comme l'on sait, par les contractions successives et équidistantes du doigt médius, venant s'inscrire sur un cylindre tournant.

La décroissance de la contraction sous l'influence de la fatigue s'enregistre par une courbe, qui présente certains caractères communs à tous les individus, et d'autres caractères, qui sont strictement personnels et qui sont définis par les constantes ou paramètres de ces courbes.

L'équation de la courbe de la fatigue chez la grenouille a été donnée il y a longtemps par H. Kronecker (*). La courbe est une droite, c'est-à-dire que l'effort décroît proportionnellement au temps. Kronecker a appelé « différence de fatigue » la différence de hauteur qui existe entre deux contractions successives; cette différence est une constante, puisque la courbe de fatigue est une droite. Pour tirer l'équation, il faut connaître la différence de fatigue (D), la hauteur de soulèvement de la première contraction (y_1), la hauteur de soulèvement d'une contraction quelconque de la série (y_n), et le nombre n de contractions qui ont précédé la contraction y_n; on a

$$y_n = y_1 - n\mathrm{D}.$$

Cette équation est très simple, car il y a un rapport de proportionnalité entre la hauteur de la contraction et le temps. J'attire l'attention des personnes non familiarisées avec la méthode mathématique, sur la signification physiologique de la constante de la courbe. La constante D

(*) H. Kronecker, *Ueber Ermüdung und Erholung der quergestreiften Muskeln.* (Arbeiten aus der physiol. Anstalt zu Leipzig, 1871, VI.)

sert, en effet, à caractériser le degré de fatigue. Si, étant données deux courbes, ayant la même hauteur au début, dans la première la descente de la courbe est plus accentuée que dans la deuxième, la différence de fatigue sera plus grande, et cette différence de fatigue mesure la fatigabilité. On peut donc dire que la constante D de Kronecker mesure la fatigabilité, prise dans un sens très global, car nous manquons de moyens de reconnaître si cette fatigabilité est due à l'usure des réserves, à l'intoxication par les déchets, ou à d'autres causes.

Les courbes de Mosso ne sont presque jamais des droites. Une constante ne peut donc suffire. Mais grâce à l'introduction de plusieurs constantes dans l'équation, nous avons le moyen de décomposer la « fatigabilité » en ses éléments constituants.

En examinant les nombreuses formes d'ergogrammes, on voit que quelques-uns descendent plus vite qu'une droite, et les autres descendent moins vite qu'une droite. Ce dernier cas est de beaucoup le plus fréquent. La grande majorité des sujets présentent, d'après mes observations, des courbes dans lesquelles la hauteur de la contraction descend d'abord très vite, ensuite beaucoup plus lentement, et même quelquefois la courbe peut rester indéfiniment parallèle à l'axe des abscisses. Ce phénomène est quelquefois dû à un poids insuffisant; mais il peut se rencontrer chez certaines personnes qui emploient des poids lourds.

D'après Hough (*), dans les muscles non entraînés, la

(*) T. Hough, *Ergographic studies in muscular fatigue and soreness.* (Journ. of Boston Soc. of med. science, V, 1900.) — *Ergographic studies in neuro-muscular fatigue.* (Amer. Journ. of Physiology, V, p. 240.)

hauteur décroît continûment. Mais dans les muscles entraînés, la hauteur des soulèvements décroît plus rapidement au commencement de la courbe que vers la fin et demeure finalement à une hauteur fixe pendant longtemps.

Cette observation de Hough est très intéressante, car elle donne un nouvel appui à la supposition formulée déjà auparavant par quelques physiologistes, que les muscles fatigués travaillent plus économiquement. L'entraînement, qui réalise les meilleures conditions du travail, vient, en effet, augmenter le rendement au moment de la fatigue. C'est là un des mécanismes auto-régulateurs de la fatigue.

La forme décrite par Mosso sous le nom de « forme en *S* italique », et qui présente donc deux convexités, est très rare.

Il est reconnu aujourd'hui que la forme de la courbe est liée aux particularités individuelles et aux conditions dans lesquelles s'accomplit le travail. Les variations accidentelles n'entrent pas en ligne de compte pour un muscle entraîné (Hough). Il est en outre très probable qu'il y a des caractéristiques tenant à la race, au sexe, au côté droit ou gauche du corps, etc.

Il existe une grande lacune dans les études ergographiques : car, bien que Mosso ait justement insisté sur ce fait qu'à côté de la somme de travail mécanique, il faut considérer dans chaque courbe sa *forme*, ni Mosso lui-même, ni ses continuateurs n'ont même essayé d'analyser d'une façon précise la forme de la courbe. On s'est contenté d'affirmer qu'elle a des caractères individuels, en se basant simplement sur l'inspection de l'ergo-

gramme. Il est même curieux de constater que la notion de la forme de la courbe n'intervient pas dans les innombrables études ergographiques entreprises en Italie, en Allemagne et en France. Ainsi, on étudie l'influence du poids, du rythme, de la chaleur, du froid, de l'anémie, d'une foule de substances chimiques et pharmaceutiques sur l'ergogramme, mais on se place exclusivement au point de vue de la somme du travail mécanique fournie par les sujets; ce que devient la forme de la courbe dans ces conditions, les auteurs ne le disent pas (*).

Il est vrai que l'analyse de la courbe présente des difficultés très grandes, alors que la mesure du travail mécanique est très simple. Comment, en effet, définir la forme de la courbe? Binet et Vaschide proposent de remplacer la forme de la courbe par une donnée plus simple, qui est la hauteur du soulèvement pris au milieu du travail ergographique (soulèvement médian). Cette donnée permet de savoir si un sujet a maintenu longtemps la force qu'il avait au début de l'expérience, ou si, au contraire, ses forces ont diminué rapidement.

C'est à Kraepelin que nous devons la première notion sur une distinction à établir entre les deux éléments constituants de la courbe : le nombre de soulèvements et

---

(*) Il peut arriver que, la somme de travail restant la même, la forme de la courbe se modifie. C'est le cas, par exemple, pour le courant galvanique (Schnyder, *Archives d'électricité médicale*, octobre 1902), dont le passage par l'organisme détermine un nombre plus considérable d'ordonnées, une chute moins brusque de celles-ci; mais la hauteur des contractions est légèrement diminuée; le travail total est quelquefois augmenté, mais il peut rester le même.

leur hauteur. Ces travaux ont été suivis par mes recherches sur le quotient de la fatigue, dont il sera question dans la suite. Ni les travaux de Kraepelin, ni les miens, sur le quotient de la fatigue n'ont pu définir la courbe, mais nous avons pu reconnaître que les variations des deux facteurs de la courbe (hauteur et nombre des soulèvements) ne sont pas toujours parallèles (*).

I. — Premiers essais de détermination mathématique.

Ces premiers essais présentent de l'intérêt, surtout au point de vue de l'évolution des méthodes que nous avons suivies avant d'arriver à poser l'équation.

1. — *Sur une loi de décroissance de l'effort à l'ergographe.*

Nous avons considéré les ergogrammes de cinq sujets (étudiants âgés de 20 ans environ) différents, bien exercés au préalable et faisant partie de mes séries ergographiques (**). Les contractions avaient lieu toutes les deux secondes dans les conditions suivantes :

(*) Parmi les essais de détermination mathématique, notons les travaux de Alfred Lehmann (*Die körperlichen Ausserungen psychischer Zustände,* vol. I, 1899, et vol. II, 1901, Leipzig). L'auteur utilise l'ergographe à ressort pour la main. Sa formule exprime la relation entre le travail total et le nombre des travaux partiels (nombre des contractions). J'y reviendrai dans une étude d'ensemble.

(**) Charles Henry et J. Ioteyko, *Sur une loi de décroissance de l'effort à l'ergographe.* (Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, 30 mars 1903.)

SUJETS.	Nombre d'ergogrammes successifs.	Poids soulevé en kilogrammes.	Intervalle du temps entre chaque ergogramme.
Decraene	5	3	3′
Knops.	5	4	5′
Schouteden	3	5	2′
Hubert	2	3	10′
Van Hoegaerden. . .	2	5	2′

L'intervalle du temps entre chaque ergogramme est très différent pour les différents sujets, mais reste le même pour chaque personne.

Pour tous ces ergogrammes, en appelant y le quotient de la somme des efforts maxima (ordonnées maxima ou hauteurs des contractions maxima) par le temps au temps t; Y ce quotient au temps 1, on trouve la relation

$$\log y = \log Y - \log t \left(\frac{t^2 + at + b}{t^2 + ct}\right);$$

le facteur

$$\alpha = \frac{t^2 + at + b}{t^2 + ct}$$

passe par un minimum; les constantes a et b, la première dépendante du temps, la seconde indépendante, mesurent la *fatigabilité;* la constante c mesure la *résistance* du sujet au cours de l'ergogramme considéré.

On pourra juger, par le choix de ces valeurs prises au hasard, du degré satisfaisant de concordance entre la formule et l'expérience: la première colonne de ces tableaux renferme les temps considérés; la deuxième

colonne, les α calculés pour ces temps; la troisième colonne, les α observés; la quatrième colonne, les écarts entre le calcul et l'observation.

Decraene, 5 ergogrammes.

1. Log Y = 2,176

2	0,449	0,449	0,000
17	0,299	0,318	0,019
37	0,319	0,323	0,004
52	0,339	0,341	0,002

2. Log Y = 2,012

2	0,352	0,352	0,000
12	0,288	0,295	0,007
22	0,301	0,309	0,008
32	0,335	0,335	0,000

3. Log Y = 1,924

2	0,346	0,346	0,000
17	0,269	0,262	0,007
22	0,301	0,276	0,025
28	0,336	0,330	0,006

4. Log Y = 1,898

2	0,336	0,339	0,003
13	0,254	0,259	0,005
23	0,289	0,283	0,006
28	0,307	0,312	0,005

5. Log Y = 1,868

2	0,332	0,332	0,000
7	0,230	0,259	0,029
18	0,324	0,274	0,050
23	0,360	0,368	0,008

Schouteden, 3 ergogrammes.

1. Log Y = 2,083

5	0,378	0,373	0,005
25	0,346	0,344	0,002
40	0,366	0,366	0,000
54	0,386	0,386	0.000

2. Log Y = 2,041

6	0,392	0,392	0,000
18	0,310	0,377	0,067
30	0,302	0,392	0,090
42	0,409	0,407	0,002

3. Log Y = 1,903

5	0,459	0,459	0,000
15	0,392	0,394	0,002
25	0,392	0,387	0,005
30	0,397	0,392	0,005

Hubert, 1 ergogramme.

1. Log Y = 2,193

5	0,330	0,330	0,000
22	0,282	0,285	0,003
51	0,362	0,364	0,002
55	0,375	0,372	0,003

VAN HOEGAERDEN, 1 ergogramme.

1. Log Y = 2,021

2	0,427	0,428	0,001
7	0,352	0,351	0,001
11	0,390	0,368	0,022
14	0,421	0,411	0,010

Nous voyons, d'après ce tableau, que, pour un même sujet, avec la fatigue, Y diminue quand le numéro d'ordre des ergogrammes grandit ; mais ni α ni aucune des constantes de fatigabilité et de résistance ne subissent de modifications régulières.

Les paramètres ne présentent pas, par conséquent, un réel intérêt physiologique. A ce titre, cet essai est fort instructif, car il montre que la courbe d'un phénomène physiologique ne peut être attaquée indistinctement par toutes les méthodes dont disposent les sciences mathématiques : pour résoudre des problèmes physiologiques, les mathématiques doivent subir une orientation donnée par les nécessités biologiques.

2. — *Méthode statistique.*

Une méthode statistique compterait le nombre d'efforts (nombre de contractions) en fonction des écarts par rapport à la moyenne. Il faudrait porter en ordonnées (axe des y) le nombre d'efforts, en abscisses (axe des x) les écarts par rapport à la moyenne des valeurs de ces efforts. Sur un même graphique, on réunirait les ordonnées de toutes les courbes de même écart maximum par rapport

à la moyenne et on ferait passer par les points de ce graphique une courbe de sentiment.

L'équation est de la forme

$$\frac{y}{Y} = a^{x^c},$$

y étant le nombre d'efforts correspondant à un écart x, Y étant le nombre maximum des efforts considérés moyens, a étant le rapport du nombre d'efforts de l'écart 1 au nombre d'efforts moyen $\left(\frac{y}{Y} = a \text{ pour } x = 1\right)$.

Plus c est grand, moins il y a de grands et de petits efforts; c serait différent sans doute suivant qu'il s'agit des efforts plus grands ou plus petits que la moyenne. Quand on examine une courbe ergographique, on s'aperçoit qu'en règle générale, il y a beaucoup plus de petites contractions que de grandes. Cela montre que la répartition de l'effort n'a rien à faire avec le hasard et qu'il y a des influences prépondérantes et des éléments divers à séparer en groupes irréductibles par des méthodes nouvelles. Mais ce sont là des problèmes extrêmement laborieux qui paraissent devoir céder le pas pour l'instant à des méthodes d'étude plus directes.

II. — **Équation générale des courbes de fatigue.**

Le point de départ de cette étude est le fait physiologique constaté par A. Mosso, dans ses mémorables recherches, que chaque personne possède une courbe qui lui est particulière; cette identité du phénomène graphique montre indubitablement que des lois fixes, mathématiques doivent présider à la façon dont on se fatigue. On a objecté bien des fois que la courbe était souvent

modifiée et que la somme du travail mécanique n'est pas toujours la même. J'ai fait voir que pour démontrer l'identité des courbes de fatigue chez la même personne et pour éliminer les influences journalières, le mieux est de donner deux ergogrammes à la même séance, en prenant un intervalle suffisant entre les deux épreuves pour se réparer complètement. On est alors frappé de l'identité complète qui existe entre le travail mécanique des deux courbes, leurs quotients de fatigue respectifs (hauteurs moyennes) et leur forme, au point que la seconde semble être la photographie de la première. Cette identité des courbes ne s'observe que pour le rythme de 30 contractions par minute. Avec des rythmes plus rapides, les variations dans la quantité du travail sont beaucoup plus grandes. D'ailleurs, sous l'influence de l'exercice répété, on voit les irrégularités des courbes disparaître, le travail mécanique augmenter considérablement pour atteindre une valeur plus ou moins fixe. Tous ces faits montrent donc avec toute évidence que les différences énormes qu'on constate quelquefois dans le travail chez le même sujet sont dues soit au manque d'entraînement, soit à des modifications dans l'état du sujet ou dans les conditions extérieures du travail. Ces phénomènes m'avaient paru si remarquables que, déjà en 1899, je suggérais qu'il y avait là, à n'en pas douter, matière à l'établissement d'une formule mathématique de la loi de l'épuisement.

Il faut donc admettre qu'il existe une loi, c'est-à-dire un rapport fixe entre l'effort à chaque instant (c'est-à-dire la hauteur de chaque contraction) et le temps où se produit l'effort, autrement dit que y est fonction de x (x étant l'abscisse ou la ligne du temps, y étant la ligne des ordonnées ou des hauteurs successives de contraction).

Le problème est donc le suivant : Dans un ergogramme de Mosso, trouver une relation mathématique qui permette, étant donné le temps (à un instant quelconque du travail), de trouver l'ordonnée correspondante à cet instant-là. Ou réciproquement, étant donné l'effort (hauteur de la contraction) à un moment donné, trouver le temps auquel il correspond. D'une façon générale, trouver une relation entre la hauteur de la contraction à chaque instant et le temps. Cette relation est l'équation de la courbe.

Pour trouver cette relation, il faut commencer par tracer la courbe de sentiment qui est une sorte de moyenne passant aussi près que possible des sommets tracés par les soulèvements successifs. On substitue ainsi à la courbe de Mosso, basée sur l'expérimentation, une courbe plus régulière, mais ne différant en réalité que très peu de la courbe observée. L'écart moyen entre la courbe calculée et la courbe observée atteint souvent à peine une fraction de millimètre (voir fig. 1).

Quelle est la relation entre les x et les y ?

Les courbes de fatigue ne sont presque jamais des droites. L'équation de Kronecker pour les muscles de grenouille, à une seule constante, ne peut donc leur être appliquée.

Dans le but de me faire comprendre de tous les physiologistes, je dois entrer dans quelques explications qui paraîtront oiseuses aux mathématiciens.

Quand on dit qu'une quantité varie proportionnellement à une autre, cela veut dire qu'on pourra trouver toutes les valeurs de la seconde quantité en multipliant les valeurs de la première par un nombre constant. Cette loi peut s'exprimer par $y = ax$ (a étant un nombre

constant. La loi de la proportionnalité n'est que le cas le plus simple des lois de variation.

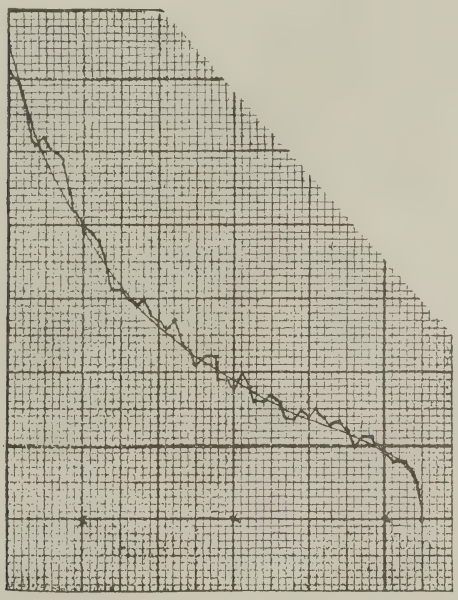


Fig. 1. — La courbe irrégulière est la courbe observée La courbe régulière est la courbe calculée dans l'ergogramme.

Le calcul montre que la courbe ergographique est une *parabole*. On a une parabole chaque fois que pour retrouver une ordonnée quelconque (l'y), on doit élever au carré l'abscisse correspondante (l'x), laquelle abscisse étant multipliée ensuite par une constante. Autrement dit, la variable (y) est égale à l'autre variable (x) élevée au carré et multipliée par une constante.

On a dans le cas d'une parabole

$$y = bx^2 \qquad (b = \text{constante}).$$

Il y a des paraboles de différents degrés, de la forme

$$y = ax^m + bx^n + cx^p + dx^q + \text{etc.}$$

Ceci étant donné, je passe à l'exposé de l'équation trouvée par nous pour les courbes ergographiques.

La courbe ergographique rentre dans la catégorie des paraboles du troisième degré, parce que son plus grand exposant est 3.

Pour tirer l'équation, il suffit de connaître quatre données expérimentales : l'*effort maximum* (hauteur de la contraction maximale) et encore *trois hauteurs* prises à des temps assez différents. Il suffit donc de quatre données empiriques. Avec les trois efforts pris à des temps assez différents, nous calculons les trois constantes a, b et c, et nous appliquons l'équation

$$\eta = \text{H} - at^3 + bt^2 - ct,$$

η étant l'effort à chaque instant, H l'effort maximum initial (en millimètres), t le temps (unité de temps $= 2$ secondes, les contractions se faisant d'habitude à ce rythme), a, b, c des constantes ou paramètres.

Cette loi mathématique peut être exprimée de la façon suivante dans le langage physiologique : la courbe ergographique se trouve à chaque instant sous l'influence de trois facteurs (les constantes) agissant pour leur propre compte. Parmi les constantes, b est positive, c'est-à-dire qu'elle tendrait à élever la courbe ergographique suivant le carré du temps ($+ bt^2$), si elle agissait seule. Les deux autres constantes sont négatives; la constante c, dans le cas où elle agirait seule, tendrait à faire abaisser la

courbe proportionnellement au temps; et la constante a, agissant seule, tendrait à faire abaisser la courbe suivant le cube du temps. Comme elles agissent toutes à la fois et d'une façon constante d'un bout à l'autre de la courbe, celle-ci est la résultante de l'action combinée de ces trois facteurs ou paramètres. C'est ce que représente schématiquement la figure ci-dessous (fig. 2).

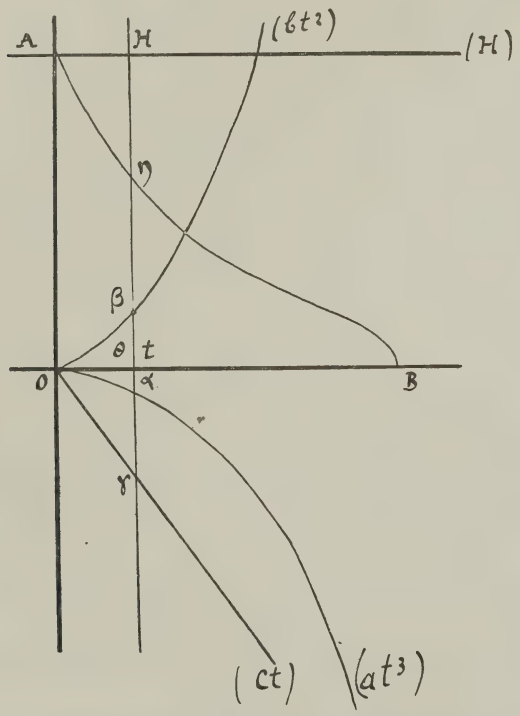


FIG. 2. — Figure schématique montrant l'action des paramètres a, b, c dans un ergogramme. Visiblement, on a dans cette figure :

$$\begin{aligned} \eta &= \theta\eta \\ &= \theta H + \theta\beta - \theta\alpha - \theta\gamma \\ &= H + bt^2 - at^3 - ct. \end{aligned}$$

Pour avoir donc la valeur d'un effort quelconque dans la courbe ergographique, il faut retrancher de H (hauteur de l'effort maximum) le terme at^3, ajouter le terme bt^2 et retrancher le terme ct.

Prenons un exemple. Supposons $a = 0{,}004$ dans une courbe donnée

Au temps 1 nous aurons $at^3 = a \times 1^3 = 0{,}004$.
Au temps 2 nous aurons $a \times 2^3 = 0{,}004 \times 8$.
Au temps 3 nous aurons $a \times 3^3 = 0{,}004 \times 27$.

Et ainsi de suite. Il en est de même avec chaque paramètre. Les valeurs plus ou moins grandes des paramètres expriment donc la perte de puissance due aux paramètres négatifs (a et c) et l'augmentation de puissance due au paramètre positif (b) au bout de l'unité de temps. Nous voyons aussi que ces pertes de puissance varient différemment en fonction du temps, diminuent suivant le cube du temps dans le cas de a, augmentent suivant le carré du temps dans le cas de b, et diminuent proportionnellement au temps dans le cas de c.

Parmi ces paramètres, il y en a un qui tend à élever continuellement l'effort musculaire (paramètre b). C'est là une constatation que seule une méthode mathématique était en mesure de déceler et de préciser, car le phénomène graphique pris dans son ensemble montre que les ordonnées décroissent d'une façon générale.

Cette équation s'applique à tous les ergogrammes, aussi bien normaux que modifiés sous l'influence de causes physiologiques ou pathologiques. Seules les valeurs des constantes diffèrent, comme nous allons le voir dans un des chapitres suivants, en traitant de la signification physiologique des paramètres.

L'équation s'applique à tous les ergogrammes à un seul point d'inflexion. Ils constituent d'ailleurs l'énorme majorité, au point que les ergogrammes à deux points d'inflexion (courbes en *S* italique de Mosso) peuvent être considérés comme une forme aberrante. D'ailleurs, une équation du quatrième degré pourrait leur être appliquée, le cas échéant.

Un point d'inflexion est un point tel que la tangente à la courbe, en ce point, passe au-dessous de la courbe après avoir été au-dessus et réciproquement. Le degré de l'équation exprime le nombre de coupures de la courbe par une droite. La courbe est du troisième degré quand la droite coupe la courbe en trois points. Quand il y a un point d'inflexion, la parabole est coupée par la ligne droite en trois points.

Nous terminerons ce chapitre par quelques mots sur le calcul des paramètres.

La détermination des inconnues a, b, c n'exige que la résolution de trois équations du premier degré, c'est-à-dire des calculs parfois laborieux, mais essentiellement faciles.

Supposons qu'un ergogramme nous fournisse ces valeurs (choisies à dessein assez éloignées les unes des autres sur la courbe) :

$$\left\{\begin{array}{lll} x = 10 & \text{pour} & y = 40 \\ x = 30 & \text{»} & y = 19 \\ x = 50 & \text{»} & y = 9 \end{array}\right\} \mathrm{H} = 64.$$

En appliquant la formule

$$y = \mathrm{H} - at^5 + bt^2 - ct,$$

nous écrivons

$$40 = 64 - 10^3a + 10^2b - 10c$$
$$19 = 64 - 30^3a + 30^2b - 30c$$
$$9 = 64 - 50^3a + 50^2b - 50c$$

c'est-à-dire

$$(1) \quad . \quad . \quad . \quad 40 = 64 - 1000a + 100b - 10c$$
$$(2) \quad . \quad . \quad . \quad 19 = 64 - 27000a + 900b - 30c$$
$$(3) \quad . \quad . \quad . \quad 9 = 64 - 125000a + 2500b - 50c.$$

De (3) l'on tire :

$$(4) \quad . \quad . \quad . \quad c = \frac{-9 + 64 - 125000a + 2500b}{50}.$$

De (2) l'on tire, en remplaçant c par sa valeur :

$$(5) \quad -b = \frac{-19 + 64 - 27000a + 5.4 - 38.4 + 75000a}{600}.$$

Je remplace dans (1) b et c par leurs valeurs tirées de (4) et (5) et j'obtiens, toutes réductions faites et en calculant d'une manière approchée,

$$(6) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad a = \frac{57,15}{56000} = \frac{1}{1000} \text{ environ.}$$

Je n'ai plus qu'à reporter cette valeur de a dans (5); je trouve :

$$b = -\frac{1}{10} \text{ environ;}$$

et reportant ces valeurs de a et de b dans (4) :

$$c = 3,6 \text{ environ.}$$

En possession de ces constantes, je dois retrouver une

ordonnée quelconque y en partant de son abscisse correspondante t, c'est-à-dire vérifier pour tous les y et pour tous les t correspondants la relation

$$y = 64 - \frac{t^3}{1000} + \frac{t^2}{10} - 3{,}6t.$$

Quand la vérification n'est pas parfaite, on peut améliorer la concordance des deux termes de ces équations par des choix d'autres systèmes de trois valeurs initiales, qui donnent de nouvelles valeurs des constantes, et par divers autres artifices de calcul qui constituent l'art du calculateur, à la rigueur par l'emploi de la méthode des moindres carrés : mais il nous faudrait empiéter ici sur le domaine des mathématiques pures, et, dans la grande majorité des cas, la méthode élémentaire suffira. Cette méthode a donné pour valeurs définitives dans l'exemple choisi : $a = 0{,}001309$; $b = 0{,}1247$; $c = 4{,}06$, avec un écart moyen $\varepsilon = 1{,}33$.

III. — La relation du quotient de fatigue de J. Ioteyko.

Dans mon travail ergographique paru en 1899 (*), j'ai introduit la notion du *quotient de fatigue* ou de la hauteur moyenne de l'ergogramme. C'est le rapport $\frac{H}{N}$ qui existe entre la hauteur totale des soulèvements H dans un ergogramme et leur nombre N. J'ai insisté sur cette même notion dans quelques autres travaux, et dans ces

(*) *L'effort nerveux et la fatigue.* (ARCHIVES DE BIOLOGIE, t. XVI, 1899.)

derniers temps, j'ai résumé les diverses observations basées sur l'emploi de ce terme dans mon article « Fatigue » du Dictionnaire de physiologie de Ch. Richet (*). Les recherches de Hoch et Kraepelin et les miennes ayant démontré que la hauteur des soulèvements est une expression de la puissance musculaire, alors que le nombre des soulèvements se trouve sous la dépendance de l'état des centres nerveux, le « quotient de fatigue » sert à exprimer une certaine relation entre les actions purement musculaires et des actions propres aux centres nerveux. Dans le chapitre consacré à la fatigue rémanente, je reviendrai plus en détail sur la signification physiologique du quotient de fatigue. Il suffira ici de signaler qu'on peut facilement déduire de l'équation générale des courbes de fatigue, indiquée précédemment, la relation du quotient de fatigue (hauteur moyenne ou effort moyen) avec le temps.

Le quotient de fatigue est, par définition,

$$\frac{\eta_0 + \eta_1 + \eta_2 + \cdots + \eta_t}{t + 1},$$

$\eta_0, \eta_1, \eta_2 \ldots \eta_t$, etc., étant les valeurs des efforts successifs (évalués en millimètres) aux différents temps,

---

(*) Voir encore mes travaux : *Le quotient de fatigue* (Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris, t. CXXX, 1900); *Bulletin de la Société des sciences médicales et naturelles de Bruxelles*, 8 janvier 1904; *Participation des centres nerveux aux phénomènes de fatigue musculaire* (Année psychologique, 1900); *Le siège de la fatigue* (Revue générale des sciences, 30 mars 1902); IVe Congrès de psychologie, Paris, 1900; Congrès de physiologie, Turin, 1901.

t étant le temps total de l'ergogramme (qui peut servir d'expression au nombre des soulèvements); comme la première contraction se fait au temps 0, et que le rapport $\frac{H}{N}$ tient compte de tous les soulèvements, on doit ajouter au temps total le nombre 1.

En intégrant, on trouve pour ce quotient Q (qui par sa qualité d'ordonnée moyenne représente l'aire de l'ergogramme divisée par le temps) à un temps quelconque t :

$$Q = \frac{1}{t}\int_0^t \eta dt = H - \frac{1}{4}at^5 + \frac{1}{3}bt^2 - \frac{1}{2}ct.$$

$\int_0^t \eta dt$ représentant l'aire, c'est-à-dire la somme de 0 à t des contractions supposées continues, multipliée par dt, un intervalle de temps infiniment petit (*).

(*) Rappelons, pour les lecteurs non familiarisés avec les notations mathématiques, la signification géométrique de l'intégrale $\int_0^t \eta dt$.

Cette expression représente l'aire oABo comprise entre les axes ot et $o\eta$ et la courbe ergographique (C), et voici comment on a été conduit à cette notation :

L'aire cherchée (fig. 3) se compose d'aires partielles, telles que PMNT, dont on peut prendre la largeur PT aussi petite que l'on veut, en en prenant un nombre suffisamment grand. Or, l'aire PMNT est plus petite que l'aire PMγ et plus grande que PμNT; elle est donc égale à l'aire d'un certain rectangle de base PT et de hauteur RS intermédiaire entre PM et TN. Si PT est suffisamment petit, RS différera d'aussi peu qu'on le veut de PM et de NT; on désigne alors par ηdt l'aire PMNT ainsi définie; l'intégrale est la limite vers laquelle tend

L'aire de l'ergogramme n'est malheureusement encore qu'une mesure très imparfaite de la puissance dépensée, car, par définition, on ne tient pas compte de la dépense du travail statique afférent à chaque soulèvement; mais cette lacune sera comblée ultérieurement.

On voit que le quotient de fatigue est une quantité étroitement liée à l'équation, et comme le quotient sert

---

la somme de ces aires, lorsque leur nombre augmente indéfiniment, chacune d'elles devenant infiniment petite.

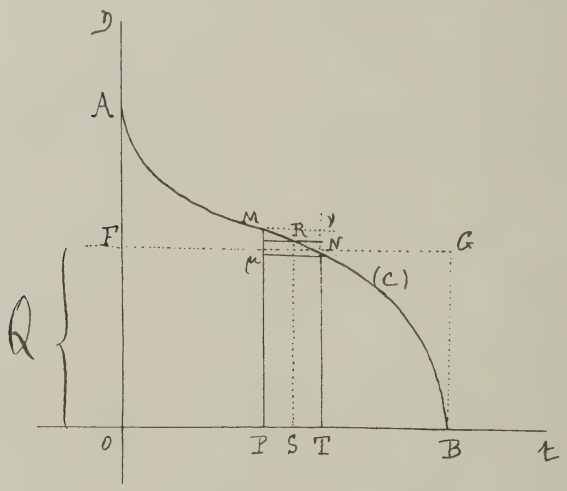


Fig. 3.

La quantité $Q = \frac{1}{t}\int_0^t \eta dt$ est le quotient de l'aire oACB par la longueur oB; c'est donc la hauteur oF d'un rectangle oFGB qui, ayant même base oB que l'aire, a aussi même surface. C'est ce que l'on appelle en mathématiques la *valeur moyenne de* η entre o et B.

à désigner un rapport physiologique, il permet de prévoir que l'équation elle-même se trouve étroitement liée à des caractéristiques physiologiques. Nous voyons que le quotient de fatigue grandit quand le paramètre *b* grandit, les autres paramètres restant fixes. La décroissance continue du quotient de fatigue dans la courbe (diminution continue de la hauteur moyenne) est due par conséquent à la perte de puissance occasionnée par l'action prédominante et antagoniste des paramètres *a* et *c*.

C'est ainsi que se trouve réalisé le desideratum que j'indiquais (*) :

« A côté du quotient total, il faut considérer les *quotients partiels*. Si nous calculons les quotients partiels, c'est-à-dire le rapport entre la somme des hauteurs et le nombre des soulèvements à un moment donné de l'expérience, nous connaîtrons alors les valeurs de l'effort moyen en fonction du temps. Nous arriverons ainsi à donner une expression mathématique à la courbe de fatigue, à connaître ses particularités individuelles et ses variations. Le coefficient de résistance pourra alors être facilement calculé. »

IV. — Caractéristiques mathématiques des courbes de fatigue.

On vient de voir comment les caractéristiques graphiques des ergogrammes peuvent être ramenées à des caractéristiques mathématiques.

Nous savons qu'il existe pour chaque personne une

(*) *Dictionnaire de physiologie* de Ch. Richet, article « Fatigue », p. 177.

courbe, un travail mécanique et un quotient de fatigue caractéristiques. Nous pouvons maintenant remplacer ces données par une donnée mathématique, en disant que *la valeur des constantes reste toujours la même pour chaque personne*, autrement dit, *qu'il existe une caractéristique mathématique individuelle*, qui se reconnaît par l'identité des constantes ou paramètres. La constante *a* aura donc toujours la même valeur pour la même personne dans tous ses ergogrammes pris dans des conditions identiques, c'est-à-dire identiques graphiquement. Les constantes H, *b* et *c* seront aussi les mêmes dans toutes ces courbes.

La notion graphique si complexe et si vague de la *forme de la courbe* se trouve donc ainsi ramenée à la connaissance de quatre paramètres, c'est-à-dire de quatre nombres, qui suffisent pleinement pour caractériser une courbe. Les variations individuelles tiennent à des différences dans les nombres qui expriment les constantes ou paramètres.

Le même raisonnement s'applique aussi à la détermination des modifications que subit l'ergogramme sous l'influence des poisons, des différentes conditions expérimentales, etc. Dans ces cas, la forme de la courbe se modifiant, la valeur des constantes respectives change. Et, comme les modifications dues à l'action de différentes substances affectent un type régulier pour chacune d'elles, il en découle avec toute évidence que les constantes sont aussi modifiées dans un sens défini et qu'il existe, par conséquent, des *caractéristiques mathématiques pour les courbes de l'alcool, de la caféine, de l'essence de thé*, etc. Ainsi, par exemple, certains paramètres peuvent se trouver augmentés par rapport à leur valeur

normale, d'autres, au contraire, peuvent se trouver diminués.

Il reste aussi à voir s'il n'existe pas de caractéristiques mathématiques dans les ergogrammes comparatifs des deux sexes, de la main droite et de la main gauche, et, en général, dans toutes les conditions possibles de l'expérimentation. Dans tous ces cas, les différences seraient exprimées par des nombres, ce qui constitue le plus haut perfectionnement auquel une science peut aboutir.

Rappelons encore que toutes ces caractéristiques reposent sur l'évaluation des constantes et sur la certitude que les constantes des ergogrammes, pris dans des conditions identiques, sont respectivement les mêmes. Cette certitude est à la base même de l'ergographie et repose sur l'expérience qui montre l'identité des phénomènes graphiques dans les mêmes conditions. Si, pour une raison quelconque, un sujet fournit deux courbes différentes, ses constantes auront aussi varié. Les mathématiques n'introduisent aucun élément nouveau dans les phénomènes, elles ne font que tirer tout le parti possible des choses déjà existantes, et permettent de définir des phénomènes qui, par leur complexité, semblent échapper à une définition graphique ou physiologique.

V. — Signification physiologique des constantes ou paramètres.

La possibilité de ramener les particularités des courbes de fatigue à une expression mathématique justifierait par elle-même toute tentative d'une étude mathématique. En réalité, cette étude, à côté d'un intérêt purement mathématique, présente un intérêt physiolo-

gique de haute portée. Les constantes qui servent aussi bien pour l'effort à chaque instant que pour l'effort moyen, peuvent être reliées à des caractéristiques physiologiques.

Donnons un exemple du rôle des paramètres dans les phénomènes d'ordre physique. Prenons la loi de vitesse du refroidissement, qui est dans des limites étroites de températures :

$$i_t = i_0 e^{-\alpha t}; \qquad \alpha = \frac{\beta S}{pc};$$

où i_t est la température au temps t; i_0 la température initiale, $e = 2,71828$, base des logarithmes népériens; α une constante qui mesure la vitesse de refroidissement d'un corps donné et qui se décompose en d'autres paramètres, lesquels varient avec chaque corps; le paramètre β mesurant l'état de la surface, S la surface, p le poids, c la chaleur spécifique.

Les constantes ou paramètres servent donc à mesurer les différentes propriétés des corps. Dans les sciences physiques et dans l'art de l'ingénieur, les paramètres représentent des quantités qui ne varient jamais, car on peut assurer leur constance. Au contraire, en biologie, les paramètres varient sous l'influence d'une foule de conditions. C'est le véritable critérium de ce qu'on exprime dans le langage courant quand on dit que les sciences biologiques sont plus compliquées que les sciences physiques.

Le problème ainsi posé, on comprend de quelle utilité sont les mathématiques pour la solution des questions de physiologie.

En ce qui concerne les courbes de fatigue, les para-

mètres sont les pertes de puissance positives ou négatives au bout de l'unité de temps (*).

Voici la supposition qui, de prime abord, paraît la plus convaincante et qui acquiert un cachet de certitude, grâce à des vérifications ultérieures.

Parmi les paramètres, un seul (*b*) est positif, c'est-à-dire qu'il tend à élever la courbe, tandis que *a* et *c* sont négatifs, c'est-à-dire qu'ils abaissent la courbe. Le paramètre positif *b* est attribué à l'action des centres nerveux, dont l'action grandit au cours du travail ergographique pour lutter avec la paralysie envahissant le muscle. Les paramètres négatifs *a* et *c* sont attribués à des processus s'accomplissant dans le muscle même et qui ont pour effet de diminuer progressivement le travail. Cette interprétation n'est pas arbitraire : elle est basée sur nos connaissances physiologiques.

Tous les physiologistes s'accordent à attribuer une origine double à la fatigue musculaire. La fatigue musculaire se caractérise, au point de vue chimique, par une prédominance du processus de la désassimilation sur le processus d'assimilation. D'une part, il y a consommation progressive des substances nécessaires à l'activité, qui ne peuvent se reformer assez rapidement pour suffire aux exigences du moment, et, d'autre part, il y a accumulation des produits de déchet (substances dites *fati-*

(*) Afin de conserver le langage mathématique, nous appellerons pertes négatives celles qui en réalité ne sont pas des pertes mais des gains, c'est-à-dire les influences qui tendent à élever la courbe; et nous appellerons pertes positives les influences qui tendent à faire décroître la courbe.

gantes) (*), qui ne peuvent être éliminées ou neutralisées assez rapidement. En raison de cette distinction fondamentale dans la genèse des phénomènes, Verworn propose de désigner sous le nom d' « épuisement » les phénomènes de paralysie dus à la consommation des substances nécessaires à l'activité, et sous celui de « fatigue » les phénomènes paralytiques qui résultent de l'accumulation et de la toxicité des produits de déchet. J'ai accepté cette distinction (*loc. cit.*), en faisant observer toutefois qu'il est très difficile dans la pratique de faire la part qui revient à chacune de ces deux causes dans la paralysie résultant d'un excès d'activité. Il est probable qu'une réponse plus catégorique sera désormais possible.

La consommation des réserves n'est jamais absolue : un muscle cesse de se contracter bien avant l'épuisement complet des réserves. Ainsi, même un muscle extrait du corps se répare après fatigue. En outre, quand la fatigue paraît complète, il suffit d'augmenter la force de l'excitant pour voir reparaître les contractions. Ce n'est donc pas tant la consommation des réserves que l'impossibilité d'en tirer parti qui caractérise la fatigue. Et il paraît certain que la stagnation des produits de la désassimilation en est la cause.

Il est généralement admis que le muscle ne consomme pas, dans les contractions initiales, les mêmes substances que dans les contractions finales.

Voici ce que j'écrivais à ce propos dans l'article « Fatigue » du *Dictionnaire de physiologie :*

« Les expériences rapportées dans ce chapitre tendent

(*) Pour plus de détails, voir mon article *Fatigue* (Dictionnaire de physiologie), chapitre : *Chimie du muscle fatigué*, p. 137.

à prouver que pendant la fatigue le muscle consomme des matériaux un peu différents de ceux qu'il utilise pendant la contraction sans fatigue. Ce n'est pas une contradiction avec les opinions de Chauveau, qui a établi que le travail musculaire n'emprunte rien de l'énergie qu'il dépense aux matières albuminoïdes, mais que c'est à l'état d'hydrate de carbone que le muscle en travail consomme le potentiel qui est la source immédiate de son activité, et cette consommation n'est pas autre chose qu'une combustion totale. Seul le travail d'usure donne lieu à des excreta azotés, et c'est la nécessité d'un travail de réparation pour nos tissus qui explique l'immense importance de l'azote alimentaire. L'alimentation insuffisante ou un travail excessif se confondent, d'après Chauveau; ils ont pour effet d'entraîner une dépense d'albumine vivante qui se traduit par un excès dans l'excrétion azotée. Mosso croit aussi que le muscle ne consomme pas dans ses premières contractions les mêmes substances qu'il utilise quand il est fatigué; de même, dans le jeûne, nous consommons le premier jour des matériaux qui sont complètement différents de ceux que nous empruntons à nos tissus dans les derniers jours de l'inanition. Kronecker partage la même opinion.

» On peut donc dire que, dans les conditions ordinaires, le muscle consomme des substances non azotées et que c'est aux dépens de ces substances qu'il produit du travail mécanique et de la chaleur; la consommation des albuminoïdes est insignifiante et résulte d'une simple usure du tissu musculaire; les produits toxiques, issus des matières albuminoïdes, sont fabriqués en petite quantité et sont aussitôt brûlés au moyen de l'oxygène du sang, détruits dans le foie et dans d'autres glandes de l'orga-

nisme et éliminés par les reins; *dans les conditions anormales d'exercice prolongé jusqu'à la fatigue*, ou d'apport insuffisant de matériaux non azotés, le muscle, à défaut de ces substances, consomme des albuminoïdes et fournit des produits de déchets azotés, dont quelques-uns sont doués d'une très grande toxicité (A. Gautier); ces substances s'accumulent dans l'organisme et agissent d'une façon paralysante sur les éléments excitables.

» Il ne faudrait pourtant pas croire que la désassimilation des albuminoïdes commence au moment où toutes les réserves hydrocarbonées sont épuisées; nous avons vu que, même en faisant travailler un muscle sans circulation, on n'arrive pas à lui faire consommer tout son glycogène; la fatigue arrive auparavant. Il est donc fort probable que la consommation des albuminoïdes débute déjà au moment où le travail musculaire commence à fléchir. »

Cette citation me paraît indispensable, car elle montre l'état de la question avant toute tentative d'interprétation mathématique.

L'étude physiologique de la fatigue musculaire nous amène donc à admettre deux causes à la fatigue : le premier élément de la perte de puissance du muscle est constitué par l'usure des hydrates de carbone; le second élément est dû à l'intoxication par les déchets toxiques issus de la décomposition des matières albuminoïdes (*).

(*) J'ai été amenée à admettre dans un travail précédent (*Recherches sur la fatigue névro-musculaire*, ANNALES DE LA SOC. DES SCIENCES MÉD. ET NAT. DE BRUXELLES, vol. IX, 1900) que chacun de ces deux processus affecte un élément anatomique distinct. L'intoxication affecte les terminaisons nerveuses contenues dans le muscle, alors que l'usure des matériaux a pour substratum le sang circulant et la substance même du muscle.

Les deux paramètres négatifs a et c doivent correspondre nécessairement à ces deux processus chimiques s'accomplissant dans le muscle.

Nous devons considérer la constante négative c comme proportionnelle à la perte de puissance due à la diminution des réserves disponibles d'hydrate de carbone. Cette interprétation s'impose; dans tout moteur constant, la consommation du combustible croît proportionnellement au temps.

La constante négative a caractérise bien la perte de puissance due à l'intoxication locale par les toxines. Pour admettre cette explication, il faut supposer que la décomposition des albuminoïdes commence déjà dès le début de la courbe; mais comme le paramètre a est extrêmement petit (ainsi que nous le verrons par l'examen des courbes), la perte de puissance, très petite au bout du temps 1, est insignifiante au commencement de la courbe, et elle grandit ensuite très vite avec le temps. C'est bien la caractéristique du terme at^3, et cette perte de puissance, qui augmente proportionnellement au cube du temps, correspond fort bien à l'idée que nous nous faisons des effets toxiques. Il est donc très admissible que la décomposition des albuminoïdes commence dès le début de la courbe, mais elle est très peu accentuée, et les produits toxiques sont encore brûlés. La décomposition devenant de plus en plus intense, les produits toxiques s'accumulent, ne pouvant plus être brûlés en totalité, et amènent un rapide abaissement de la courbe.

D'autre part, on est conduit à voir, dans la constante positive b, une mesure de l'action nerveuse, qui grandit proportionnellement au carré du temps. (Sur la décomposition de b en deux paramètres, voir page 621.) Elle

l'action des centres nerveux et celle des toxines étant supprimées, un seul paramètre suffit (*c*). Dans la fatigue volontaire, dont la courbe est parabolique, il faut trois paramètres.

On rencontre aussi une droite dans l'excitation électrique des muscles de grenouille. L'absence du paramètre *b* est ici facilement explicable, comme dans le cas précédent, par l'absence de l'excitation nerveuse; elle est remplacée par l'excitation électrique qui reste constante. Par contre, on éprouve ici une certaine difficulté à expliquer l'absence de la constante *a* (toxines), car la douleur n'entrant pas en jeu, on utilise des excitants forts et des poids assez grands. Toutefois, deux faits permettent de recourir ici aussi à la même explication. Il ne faut pas perdre de vue que la ligne droite a été trouvée par Kronecker comme l'expression de la fatigue chez la grenouille dans le cas seulement du travail dit « en surcharge », c'est-à-dire dans des conditions où le poids n'est soulevé qu'au moment de la contraction, et, dans les intervalles, il repose sur un support. Dans le cas contraire, quand le poids est constamment tendu, la courbe de fatigue se rapproche d'une hyperbole. Or, dans le premier cas, la fatigue est moindre, car il n'y a que fatigue dynamique; dans le second cas, il y a fatigue dynamique et fatigue statique.

Un second fait, non moins important, qui peut expliquer que la fatigue est assez faible chez la grenouille, malgré l'emploi de courants et de poids assez forts, est puisé dans les processus d'oxydation qui s'accomplissent dans un muscle de grenouille, même soustrait à la circulation, quand il est exposé à l'air. Pour les muscles de l'homme, les échanges gazeux ne se font qu'entre les

fibres musculaires et le sang. La preuve, c'est que le muscle anémié de l'homme peut encore fournir un certain travail, mais il ne peut réparer sa fatigue (voir seconde partie), alors qu'un muscle de grenouille soustrait à la circulation répare très bien sa fatigue, grâce à la respiration élémentaire de ses fibres, qui ont la propriété de fixer l'oxygène de l'air ambiant (*). Nous pouvons conclure que le phénomène continuel d'oxydation qui s'accomplit dans un muscle de grenouille contribue beaucoup à diminuer la toxicité des poisons de la fatigue, surtout quand il s'agit de contractions isolées et non de tétanisation. D'ailleurs, dans le même ordre d'idées, nous pouvons citer la résistance si grande du muscle de grenouille à toutes les causes d'altération, à l'anémie, aux poisons, à la mort, de façon qu'on comprend facilement son pouvoir de résistance plus grand aux poisons de la fatigue comparativement aux muscles de l'homme.

D'ailleurs, la courbe se rapproche d'une droite toutes les fois que a et b sont très faibles.

Nous avons calculé une courbe de fatigue du gastrocnémien de grenouille excité électriquement, dont l'équation est ($\varepsilon = 0,4$) (**) :

$$\eta = 20 + 0,000001335\, t^3 + 0,0002997\, t^2 - 0,20845\, t.$$

Nous voyons que les paramètres a et b existent, mais

(*) J'ai démontré ce phénomène dans ma thèse inaugurale : *La fatigue et la respiration élémentaire du muscle.* Paris, 1896.

(**) ε = écart moyen entre la courbe observée et la courbe calculée.

l'action des centres nerveux et celle des toxines étant supprimées, un seul paramètre suffit (*c*). Dans la fatigue volontaire, dont la courbe est parabolique, il faut trois paramètres.

On rencontre aussi une droite dans l'excitation électrique des muscles de grenouille. L'absence du paramètre *b* est ici facilement explicable, comme dans le cas précédent, par l'absence de l'excitation nerveuse; elle est remplacée par l'excitation électrique qui reste constante. Par contre, on éprouve ici une certaine difficulté à expliquer l'absence de la constante *a* (toxines), car la douleur n'entrant pas en jeu, on utilise des excitants forts et des poids assez grands. Toutefois, deux faits permettent de recourir ici aussi à la même explication. Il ne faut pas perdre de vue que la ligne droite a été trouvée par Kronecker comme l'expression de la fatigue chez la grenouille dans le cas seulement du travail dit « en surcharge », c'est-à-dire dans des conditions où le poids n'est soulevé qu'au moment de la contraction, et, dans les intervalles, il repose sur un support. Dans le cas contraire, quand le poids est constamment tendu, la courbe de fatigue se rapproche d'une hyperbole. Or, dans le premier cas, la fatigue est moindre, car il n'y a que fatigue dynamique; dans le second cas, il y a fatigue dynamique et fatigue statique.

Un second fait, non moins important, qui peut expliquer que la fatigue est assez faible chez la grenouille, malgré l'emploi de courants et de poids assez forts, est puisé dans les processus d'oxydation qui s'accomplissent dans un muscle de grenouille, même soustrait à la circulation, quand il est exposé à l'air. Pour les muscles de l'homme, les échanges gazeux ne se font qu'entre les

fibres musculaires et le sang. La preuve, c'est que le muscle anémié de l'homme peut encore fournir un certain travail, mais il ne peut réparer sa fatigue (voir seconde partie), alors qu'un muscle de grenouille soustrait à la circulation répare très bien sa fatigue, grâce à la respiration élémentaire de ses fibres, qui ont la propriété de fixer l'oxygène de l'air ambiant (*). Nous pouvons conclure que le phénomène continuel d'oxydation qui s'accomplit dans un muscle de grenouille contribue beaucoup à diminuer la toxicité des poisons de la fatigue, surtout quand il s'agit de contractions isolées et non de tétanisation. D'ailleurs, dans le même ordre d'idées, nous pouvons citer la résistance si grande du muscle de grenouille à toutes les causes d'altération, à l'anémie, aux poisons, à la mort, de façon qu'on comprend facilement son pouvoir de résistance plus grand aux poisons de la fatigue comparativement aux muscles de l'homme.

D'ailleurs, la courbe se rapproche d'une droite toutes les fois que a et b sont très faibles.

Nous avons calculé une courbe de fatigue du gastrocnémien de grenouille excité électriquement, dont l'équation est ($\varepsilon = 0,4$) (**) :

$$\eta = 20 + 0,000001335\, t^3 + 0,0002997\, t^2 - 0,20845\, t.$$

Nous voyons que les paramètres a et b existent, mais

(*) J'ai démontré ce phénomène dans ma thèse inaugurale : *La fatigue et la respiration élémentaire du muscle.* Paris, 1896.

(**) ε = écart moyen entre la courbe observée et la courbe calculée.

sont extrêmement faibles; pratiquement, ils sont nuls. Ce qui attire aussi l'attention dans cette courbe, c'est que le paramètre a (toxines) n'est pas négatif, mais positif. On peut admettre que dans le cas de fatigue faible, les toxines produisent un effet excitant sur le muscle (c'est l'unique cas où nous ayons rencontré ce paramètre positif).

L'équation générale des courbes de fatigue est donc de la forme

$$y = \Pi \pm at^3 + bt^2 - ct.$$

Et, dans les cas rares où les courbes possèdent deux points d'inflexion (les courbes en S italique de Mosso), l'équation atteint le quatrième degré.

Cette équation est empirique. Une équation trouvée théoriquement s'imposerait si nous avions une connaissance approfondie du système nerveux et du muscle, et de leurs variations en fonction du temps. Cette équation théorique serait unique et la bonne. Mais dans l'état actuel de la science, nous ne pouvons poser qu'une équation empirique, qui, pour être admise, doit coïncider le plus rigoureusement avec les observations, être la plus simple possible et se prêter le plus facilement possible aux interprétations physiologiques.

L'expression exacte de la loi de l'effort serait probablement très compliquée et dépendrait d'un certain nombre de constantes α, β, γ, ..., en nombre inconnu, chacune d'elles caractérisant les actions et les propriétés spéciales et irréductibles des agents inconnus qui interviennent dans la production de l'effort musculaire.

Mais on établit, en mathématiques : 1° qu'une fonction

continue quelconque peut se représenter par une somme de la forme

$$(1) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \eta = H + at + bt^2 + ct^3 + \cdots$$

les termes de cette somme étant généralement en nombre infini; 2° que cette représentation n'est possible que d'une seule manière, qui est donnée par la *formule fondamentale de Taylor*.

Si l'on connaissait le mécanisme de l'action musculaire, on connaîtrait par cela même *tous* les coefficients H, a, b, c, etc., que l'on pourrait calculer de proche en proche et qui seraient des combinaisons convenables des paramètres α, β, γ, etc.

Mais c'est précisément l'inverse qui a lieu : on possède la courbe ergographique. On tâche alors de la représenter par une expression de la forme (1). Dans l'espèce, cette représentation est suffisante en arrêtant le développement au quatrième terme; il y a donc quatre constantes, H, a, b, c, dont la considération suffit à représenter convenablement l'expérience.

Ces constantes dépendent des quantités inconnues α, β, γ, etc.; mais cette dépendance peut elle-même recevoir la forme (1). C'est ce qui permet l'interprétation physiologique des constantes a, b, c, en s'en tenant pour chacune d'elles à celle des actions α, β, γ, qui y est prépondérante. Mais il faut se garder d'associer à cette interprétation une idée de mesure proportionnelle; par exemple, en disant que a représente l'action des *toxines*, on veut dire simplement par là que ce facteur *toxines* est le principal de ceux qui affectent l'effort proportionnellement au cube du temps. En passant d'un ergogramme à l'autre, cette action variant, son coefficient représentatif varie

lui-même et *dans le même sens*. Ce coefficient doit être envisagé, au moins *a priori*, plutôt comme un *repère* que comme une *mesure;* car il est certain que *la courbe ergographique est une déformation de la courbe de l'effort vrai*, produite par les variations périodiques des *moments* des forces en jeu par rapport aux articulations (*), au cours de chaque contraction.

En résumé, il faut que l'expérience vienne confirmer ou contredire les hypothèses que l'analyse mathématique suggère; cette dernière n'est qu'une *méthode d'induction;* mais une méthode extraordinairement féconde, car elle permet d'exprimer en langage clair successivement toutes les hypothèses possibles en indiquant pour chacune d'elles quel doit être le résultat du critère de l'expérience.

C'est ainsi qu'en faisant varier successivement tous les agents qui peuvent intervenir dans l'action musculaire, on suivra dans l'examen des coefficients l'exactitude de leur signification globale.

Toute la seconde partie de ce mémoire a pour but précisément de démontrer que l'interprétation donnée de ces paramètres représente bien au moins le *sens* des phénomènes.

VI. — Alcool.

Nous venons de voir qu'il a été possible d'arriver à une loi mathématique de la fatigue, en partant de faits d'observation, c'est-à-dire en recueillant des ergogrammes dans des conditions aussi identiques que possible. Il a

(*) Le moment d'une force par rapport à une droite passant par l'articulation est le produit de cette force par la perpendiculaire abaissée sur cette droite du point d'application de cette force.

été possible même de donner une interprétation physiologique aux paramètres. Mais on peut aller plus loin. En possession de l'équation générale des courbes de fatigue, j'ai institué toute une série d'expériences afin de *modifier* les conditions expérimentales des ergogrammes, et de constater en même temps les modifications des paramètres des courbes. Les paramètres changent-ils dans le sens prévu par l'expérimentation physiologique? La question est de la plus haute importance. Les expériences qui vont suivre ont été effectuées à un double point de vue. Dans quelques-unes, il s'agissait de bien vérifier la signification accordée aux paramètres; dans ce but, on produisait sur le sujet en expérience une influence connue d'avance dans ses résultats; par exemple, on lui donnait de l'alcool en petite quantité, qui excite les centres nerveux, et on examinait la valeur des paramètres dans les courbes modifiées par l'alcool. Si la constante b, attribuée aux centres, est augmentée, nous pouvons conclure que la signification attribuée au paramètre est bien la vraie. C'est l'unique procédé permettant d'affirmer avec toute certitude que les paramètres sont réellement liés à des caractéristiques physiologiques.

Le second point de vue, c'est l'utilisation des données recueillies grâce à l'interprétation des paramètres comme procédé de recherches nouvelles. Après avoir bien établi la signification physiologique des paramètres, en les faisant varier dans des conditions bien connues, on peut maintenant étudier l'action soit de diverses substances, soit d'influences psychiques, morales, et d'autres conditions du travail, sur l'ergogramme, afin de voir quelle est leur influence sur les paramètres. Un vaste champ d'études s'ouvre donc devant nous, et nous en traçons les premiers

jalons dans ce mémoire. La méthode ergographique acquiert donc subitement une valeur extraordinairement grande, du moment que, grâce à la connaissance des paramètres, l'analyse des processus physiologiques qui constituent la courbe peut se faire d'une façon très précise. Il est évident que la courbe de fatigue de Mosso renferme en elle tous les éléments, mystérieux encore en grande partie, qui se combinent entre eux pour déterminer le phénomène de fatigue. Mais ces facteurs principaux de la fatigue étant connus d'une façon générale, nous manquons absolument de moyens de les mesurer. Les actions nerveuses motrices sont presque insaisissables; quant aux actions chimiques de décomposition de matériaux et d'intoxication par les déchets, les méthodes chimiques sont presque impuissantes à nous fournir une réponse; par des procédés laborieux, elles peuvent à peine nous renseigner sur les modifications accomplies dans les échanges par l'organisme entier ou par l'activité de la totalité des muscles. L'étude des effets et des causes du travail d'un seul muscle ou d'un petit groupe de muscles, le seul susceptible jusqu'à présent d'être mesuré avec précision et évalué en unités énergétiques, est inabordable chimiquement.

Les méthodes mathématiques permettent donc de résoudre le problème indirectement. Elles s'intercalent entre deux séries de recherches, la première constituant la fixation des faits, le point de départ de la loi empirique, la seconde ayant pour but la vérification physiologique des paramètres et la recherche de lois nouvelles. Comme nous le verrons, les expériences de vérification se confondent souvent avec les expériences de recherches; ainsi, les expériences avec l'alcool, le sucre, l'anémie, instituées dans le but de vérifier la signification accordée

aux paramètres, ont permis de mettre en lumière bien des faits nouveaux.

Mais l'étude des constantes exige avant tout une étude physiologique sur les conditions dans lesquelles ont été prises les courbes ainsi que l'examen des courbes par les procédés anciennement connus en physiologie. Aussi chaque chapitre renfermera-t-il trois parties : 1° étude physiologique des courbes; 2° étude des paramètres; 3° interprétations.

La technique suivie dans ces expériences a toujours été rigoureusement la même. Les sujets étaient des étudiants de l'Université de Bruxelles. Ils étaient au préalable très bien entraînés, et ceci s'applique surtout à Romain, Pinsonnat et Leroy, dont les courbes sont irréprochables. Pour étudier l'action d'une substance, on commençait par prendre plusieurs ergogrammes au rythme de deux secondes et avec un intervalle de une à deux minutes entre les ergogrammes. Le sujet se reposait ensuite et, après avoir ingéré la substance active, il donnait la même série d'ergogrammes dans les mêmes conditions extérieures du travail. Entre les deux épreuves, je laissais écouler un temps variant de quarante-cinq minutes à une heure, plus que suffisant pour assurer la réparation complète. Le poids à soulever est indiqué dans chaque expérience. De cette façon, la comparaison des courbes pouvait être rigoureuse et on éliminait les effets de l'entraînement.

Les expériences avec l'alcool ont été instituées principalement dans le but de vérifier la valeur attribuée à la constante positive *b*, car on sait que l'alcool à petites doses exerce une action excitante sur les centres nerveux.

Pour la littérature de l'ergographie de l'alcool, je

renvoie le lecteur à mon article « Fatigue » du *Dictionnaire de physiologie* (p. 130). Rappelons en quelques lignes les principaux résultats. Lombard Warren (1892) fut le premier à étudier l'influence de l'alcool sur le travail ergographique; il trouva une augmentation de force après de petites doses, une diminution après de fortes doses. Il attribue l'action dynamogène à une influence de l'alcool sur les centres nerveux. Hermann Frey (1896) trouve que le travail du muscle non fatigué est diminué sous l'influence d'une dose modérée d'alcool, mais le travail du muscle fatigué est considérablement augmenté. Dans tous les cas, l'alcool a pour effet de diminuer la sensation de fatigue; le travail paraît plus facile. Frey arrive à conclure que l'alcool a une double action : 1° une action paralysante sur le système nerveux central (diminution de la sensation de fatigue) et périphérique (moindre excitabilité du muscle), apparaissant dans les expériences sur le muscle non fatigué; 2° une action due à l'apport de matériaux nouveaux de combustion, utilisables par le muscle; cette seconde action de l'alcool se manifeste seulement quand le muscle est fatigué. Selon l'auteur, le muscle frais a tout ce qu'il faut pour donner son maximum de travail, et ce maximum, il ne peut le dépasser, malgré un apport de matériaux nouveaux. Dans les expériences de Frey, l'action excitante de l'alcool se manifeste surtout par une augmentation du nombre de soulèvements à l'ergographe.

Destrée constate une augmentation de travail très fugace sous l'influence de l'alcool, suivie peu après d'un affaiblissement musculaire très marqué. L'augmentation d'excitabilité du début ne repose pas sur une illusion (abolition du sentiment de fatigue, d'après Bunge), mais est réelle. Scheffer attribue l'augmentation et la diminu-

tion consécutive du travail aux modifications corrélatives et de même sens de l'excitabilité du système nerveux. Heck conteste l'action excitante initiale de l'alcool; d'après lui, c'est un effet de suggestion. Au contraire, Ch. Féré ramène l'action excitante de l'alcool à l'influence dynamogène qu'exerce l'alcool comme excitant sensoriel à son passage dans la cavité buccale. Remarquons qu'aucune de ces deux explications n'est suffisante, car le phénomène de l'augmentation de l'excitabilité se présente très nettement sur un gastrocnémien de grenouille. Schenck admet aussi qu'en fin de compte, l'alcool exerce une action déprimante. Dans de nouvelles recherches faites avec Oseretzkowsky, Kraepelin (*) (1901) trouve que des doses d'alcool de 15 à 50 grammes exercent une action excitante extrêmement fugace; l'augmentation de travail est due presque exclusivement à une augmentation du nombre de soulèvements. Pour Kraepelin, l'alcool est un stimulant du travail moteur, qui ne diminue que consécutivement; au contraire, le travail psychique (additions) diminue d'emblée, et sans le coup de fouet du début. Partrige trouve que l'action dynamogène initiale existe aussi bien pour le travail musculaire que pour le travail intellectuel.

L. Schnyder (**) a étudié l'action de l'alcool sur la force musculaire en donnant 150 centimètres cubes de vin de Bordeaux, représentant 16 grammes d'alcool. Cette dose a une influence favorable sur le travail musculaire quand elle est prise à jeun, c'est-à-dire quand la réserve des

---

(*) A. Oseretzkowsky et E. Kraepelin, *Ueber die Beeinflussung der Muskelleistung durch verschiedene Arbeitsbedingungen.* (Psychologische Arbeiten, Bd III, 1903.)

(**) L. Schnyder, *Arch. f. ges. Physiol.*, Bd XCIII, 1903.

forces de l'organisme est en quelque sorte épuisée. Cette action favorable est contrecarrée par l'action paralysante de l'alcool sur le système nerveux. Si l'organisme, par suite de l'ingestion d'autres substances alimentaires, dispose d'une réserve de force suffisante, l'alcool n'a plus de valeur comme producteur de force.

Dans mes recherches, je n'ai envisagé que l'action des petites doses d'alcool, désirant produire un effet excitant et non paralysant. Or la durée de l'excitation alcoolique est très variable suivant les sujets, et cela explique peut-être les divergences d'opinions entre les auteurs.

Les expériences furent faites sur sept personnes : Mlle Kipiani, MM. Romain, Pinsonnat, Leroy, Gérard, Spehl et moi-même. L'alcool était donné sous forme d'eau-de-vie pure à 50°. L'effet étant très inégal suivant les personnes, il est nécessaire d'étudier chaque sujet séparément.

J. Ioteyko. D'une façon générale, l'alcool à petites doses exerce une action dynamogène. Deux à trois minutes après l'ingestion de 20 à 30 grammes d'alcool à 50°, l'effet psychique est déjà très net et se manifeste par un léger vertige et une sensation d'excitation. A ce moment, le travail peut être augmenté ou diminué, et l'augmentation de travail a trait aussi bien à la hauteur des soulèvements qu'à leur nombre. On peut appeler *période d'incoordination* cette première phase. Au bout de quinze minutes, d'une heure, d'une heure et demie après l'ingestion, on voit le mieux se manifester les effets excitants de l'alcool. La courbe est totalement changée dans sa forme ; elle est plus allongée. La hauteur des soulèvements partiels n'est jamais augmentée, mais la hauteur totale est nécessairement accrue par suite de

l'augmentation considérable du nombre de soulèvements. Le travail est considérablement accru, et le nombre augmentant plus que la hauteur totale, la valeur du quotient de fatigue $\left(\frac{H}{N}\right)$ diminue. L'action excitante peut durer deux à trois heures; on n'a jamais constaté d'action déprimante consécutive, même après 30 grammes d'alcool. Le sujet est presque abstinent dans la vie normale. Il est à noter que l'excitation motrice persiste avec un affaiblissement prononcé des facultés intellectuelles ; ainsi, le travail, consistant à copier un texte allemand, ne pouvait se faire qu'avec une extrême lenteur. A l'ergographe, le poids paraît plus léger après absorption d'alcool. Voici le relevé de quelques expériences.

3 mars 1903.	$\mathfrak{T}$.	Q.	N.	H.
Trois ergogrammes normaux. Rythme : 2″; intervalle : 2′; poids : 3 kilogrammes.				
1er ergogramme	2,064	26,4	26	688
2e —	1,266	24,8	17	422
3e —	0,948	17,5	18	316
Trois ergogrammes pris 5 minutes après l'ingestion de 30 grammes d'alcool à 50°.				
1er ergogramme	2,313	30,8	25	771
2e —	1,497	24,9	20	499
3e —	0,831	21,3	13	277

$\mathfrak{T}$ étant le travail mécanique en kilogrammètres, Q le quotient de fatigue en millimètres, N le nombre total des soulèvements dans un ergogramme, H la hauteur totale des soulèvements en millimètres.

Nous voyons que, dans cette expérience, le travail est accru dans la première et la deuxième courbe, légèrement diminué dans la troisième.

Dans les trois courbes du 6 mars 1903, prises deux minutes après l'ingestion de 20 grammes d'alcool, le travail est diminué comparativement aux trois courbes prises avant l'injection.

En revanche, l'effet caractéristique de l'alcool apparaît très nettement quand on attend plus longtemps.

10 mars 1903.	T.	Q.	N.	H.
Ergogramme normal. Rythme : 2″; poids : 3 1/2 kilogrammes.				
Ergogramme	1,102	24,2	13	315
Ergogramme obtenu 30 minutes après l'ingestion de 30 grammes d'alcool à 50°.				
Ergogramme	1,515	17,0	26	433

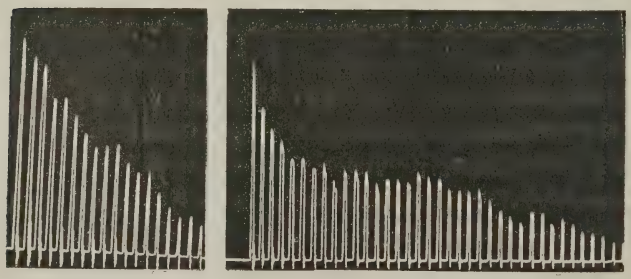


Fig. 4. — Courbe normale et courbe-alcool de J. Ioteyko, du 17 mars 1903. L'augmentation de travail, sous l'influence de l'alcool, porte sur le nombre des contractions. Grandeur naturelle.

17 mars 1903.	T.	Q.	N.	H.
Ergogrammes normaux. Rythme : 2″; intervalle : 1′; poids : 3 1/2 kilogrammes.				
1er ergogramme (fig. 4). .	0,910	14,5	18	260
2e —	0,507	10,3	14	145
3e —	0,399	8,7	13	114
Ergogrammes pris 1 heure 30 minutes après l'ingestion de 25 grammes d'alcool à 50°.				
1er ergogramme (fig. 4). .	1,295	10,0	37	370
2e —	0,731	6,9	30	209
3e —	0,686	6,5	30	196

Ces expériences sont typiques. Les courbes alcooliques sont devenues deux fois plus longues que les courbes normales, et la hauteur des soulèvements partiels non seulement n'a pas augmenté, mais elle a même diminué. Le quotient est diminué.

Romain. On observe chez Romain des effets semblables : l'action dynamogène de l'alcool se manifeste par un allongement notable de la courbe ; souvent aussi la hauteur suit la même augmentation, non pas par élévation des premiers soulèvements, mais par le maintien de l'effort à un niveau élevé.

17 mars 1903.	T.	Q.	N.	H.
Ergogrammes normaux. Rythme : 2″; poids : 5 kilogrammes.				
Main droite (fig. 5) . . .	1,570	21,0	15	314
Main gauche	2,635	18,0	29	527
Ergogrammes pris 1 heure 20 minutes après l'ingestion de 25 grammes d'alcool à 50°.				
Main droite (fig. 5) . . .	2,960	23,6	25	592
Main gauche	2,870	17,3	33	574

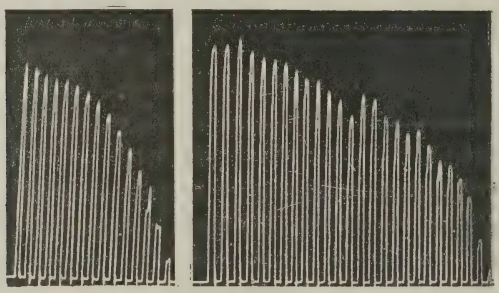


Fig. 5. — Courbe normale et courbe-alcool de Romain, du 17 mars 1903. L'augmentation de travail, sous l'influence de l'alcool, porte sur le nombre des contractions. Grandeur naturelle.

13 mars 1903.	T.	Q.	N.	H.
Ergogramme normal. Rythme : 2″; poids : 5 kilogrammes.				
Ergogramme	1,525	21,8	14	305
Ergogramme pris 1 heure après l'ingestion de 25 grammes d'alcool à 50°.				
Ergogramme	3,315	20,7	32	663

Contrairement aux observations de Frey, j'ai constaté que l'action excitante de l'alcool se manifeste dès la première courbe, mais elle n'est pas immédiate. Il peut arriver aussi que l'excitation se montre seulement dans la première courbe, les autres restant normales ou même subissant une légère diminution. Mais on n'observe jamais une action sur les courbes ultérieures à l'exclusion de la première. Dans toutes ces expériences, le repos entre l'épreuve normale et l'épreuve avec alcool était toujours suffisant pour assurer la restauration.

Mlle Kipiani. Mlle Kipiani, ayant déjà l'habitude de l'ergographe, a fourni une seule expérience avec l'alcool.

8 mars 1904.	T.	Q.	N.	H.
Ergogrammes normaux. Rythme : 2″; intervalle : 1′; poids : 3 1/2 kilogrammes.				
1er ergogramme	2,469	16,7	42	705
2e —	0,994	11,3	25	284
3e —	0,990	10,4	25	283
Ergogrammes pris 10 minutes après l'absorption de 20 grammes d'alcool à 50°.				
1er ergogramme	1,806	15,1	34	516
2e —	0,512	8,6	17	146
3e —	0,154	5,5	8	44

L'action de 20 grammes d'alcool à 50° est donc nettement paralysante, et l'effet devient de plus en plus accentué à mesure que les courbes se succèdent. Après l'alcool, le poids paraît plus lourd. On peut conclure à la

grande sensibilité individuelle de Mlle Kipiani à l'égard de l'alcool.

Gérard. Ne prend aucune liqueur alcoolique. Prend part à deux expériences avec l'alcool.

19 février 1904.	T.	Q.
Ergogrammes normaux. Rythme : 2″; intervalle : 2′; poids : 4 kilogrammes.		
1er ergogramme	2,874	17,00
2e —	1,076	11,69
3e —	1,064	9,85

Après repos complet, le sujet absorbe 20 grammes d'alcool à 50°, et au bout de sept minutes se remet au travail. C'est à peine s'il fournit quelques soulèvements enregistrables. Il reprend le travail douze minutes après l'absorption : il fournit une petite courbe de dix soulèvements. Le poids ne paraît pas plus lourd, mais la main n'obéit pas. Il est à remarquer qu'avec un poids de 2 kilogrammes, le sujet peut fournir un fort beau travail.

4 mars 1904.	T.	Q.	N.	H.
Ergogramme normal. Rythme : 2″; poids : 4 kilogrammes.				
Ergogramme	2,568	13,1	49	642
Ergogramme pris 4 minutes après l'absorption de 10 grammes d'alcool à 50°.				
Ergogramme	1,216	7,8	39	304

Dans cette expérience, le sujet éprouve beaucoup de difficulté dans le soulèvement du poids. Sa sensibilité à l'égard de l'alcool est extrêmement grande, puisque déjà 10 grammes produisent un effet paralysant.

Spehl. Une seule expérience (26 janvier 1904). Même après 50 grammes d'alcool, on n'observe aucune influence sur le tracé.

Pinsonnat et Leroy. Ne sont presque pas influencés par l'alcool au point de vue du travail ergographique. Ils ne ressentent d'ailleurs aucune influence psychique sous l'influence de l'alcool. Mais, chose curieuse, le poids paraît quand même beaucoup plus léger, au point qu'ils demandent si l'on ne s'est pas trompé de poids. Quand on force un peu la dose d'alcool (50 grammes), le travail est très légèrement diminué, sans qu'il soit possible de voir s'il passe par une phase d'augmentation.

Nous voyons se dessiner des différences individuelles très nettes. Certaines personnes (Kipiani, Gérard) sont paralysées presque immédiatement, sans qu'il soit possible de saisir chez elles la phase d'excitation. Chez d'autres personnes, on perçoit une phase d'excitation très nette (Romain, Ioteyko). Enfin, les personnes les plus réfractaires ne sont pas influencées, ni dans un sens ni dans l'autre (Leroy, Pinsonnat, Spehl), avec des doses allant jusqu'à 50 grammes d'alcool à 50°. Cette dose est susceptible de déterminer une légère dépression, qui s'établit d'emblée.

C'est à la résistance inégale des sujets vis-à-vis de l'alcool qu'il faut rattacher probablement son degré inégal de nocivité et en même temps la tendance qu'ont certaines personnes à abuser de boissons alcooliques. D'habitude, au début, c'est l'excitation que l'on recherche;

dans la suite, il faut doubler les doses. C'est là le danger psychique de l'alcool.

J'ai choisi les plus caractéristiques parmi ces courbes, et M. Chrétien a bien voulu se charger de calculer les constantes.

Voici les constantes de cinq expériences doubles (état normal et alcoolisation) (*). (ε étant l'écart moyen entre la courbe observée et la courbe calculée.)

Ergogrammes normaux.

DATE.	SUJETS.	H	*a*	*b*	*c*	ε
17 mars 1903 . . .	ROMAIN . .	29	0,006667	0,00000	0,4333	0,1
13 mars 1903 . . .	ROMAIN . .	31	0,02643	0,3364	2,021	0,2
17 mars 1903 . . .	J. I.	28,5	0,00599	0,1699	2,7	0,1
10 mars 1903 . . .	J. I.	33,5	0,0107	0,0294	0,385	0,5
4 mars 1904 . .	GÉRARD . .	22	0,000623	0,040736	0,94806	0,15

Ergogrammes après alcool (recueillis aux mêmes dates).

SUJETS.	Doses.	Temps après absorption.	H	*a*	*b*	*c*	ε
ROMAIN . .	25 gr.	1 h. 20 m.	32	0,0049	0,1195	1,205	0,4
ROMAIN . .	25 gr.	1 h.	33	0,00206	0,076	1,354	0,2
J. I.	25 gr.	1 h. 20 m.	27	0,00288	0,1786	3,384	0,3
J. I.	30 gr.	30 m.	36,5	0,00419	0,179	3,226	0,5
GÉRARD . .	10 gr.	4 m.	17	0,000825	0,0529	1,24565	0,3

(*) Pour les calculs préliminaires concernant la hauteur, le travail mécanique, le quotient de fatigue, etc., voir pages précédentes. L'alcool est à 50°.

Nous voyons d'après cette table que :

1° Le paramètre *b*, attribuable à l'action des centres nerveux, augmente sous l'influence des doses modérées d'alcool quatre fois sur cinq expériences. Il est à noter que parmi les quatre expériences où *b* est augmenté, trois se rapportent à des cas où le travail mécanique était très notablement augmenté sous l'influence de l'alcool (*), et une se rapporte à un cas où le travail musculaire était considérablement diminué (**). L'unique expérience où *b* est diminué sous l'influence de l'alcool se rapporte à un cas où le travail musculaire a été augmenté (***).

2° Le paramètre *a*, attribuable à la perte de puissance occasionnée par les toxines, est diminué quatre fois sur cinq expériences. Comme je vais tirer quelques conclusions relatives au rapport dans lequel *a* diminue, je trouve nécessaire de représenter ces rapports en un tableau :

1re exp.	(ROMAIN, 17 mars), *a* diminue dans le rapport . . .	3 : 2
2e —	(ROMAIN, 13 mars), *a* diminue dans le rapport . . .	13 : 1
3e —	(J. I., 17 mars), *a* diminue dans le rapport	3 : 1
4e —	(J. I., 10 mars), *a* diminue dans le rapport	2 ¼ : 1
5e —	(GÉRARD, 4 mars), *a augmente* dans le rapport . . .	3 : 4

(*) Expérience du 17 mars, ROMAIN, travail mécanique porté de $1^{kgm}570$ à $2^{kgm}960$.

Expérience du 17 mars, J. I., travail mécanique porté de $0^{kgm}910$ à $1^{kgm}295$.

Expérience du 10 mars, J. I., travail mécanique porté de $1^{kgm}102$ à $1^{kgm}515$.

(**) GÉRARD, travail mécanique, diminué de $2^{kgm}560$ à $1^{kgm}216$.

(***) Expérience du 13 mars, ROMAIN, travail mécanique porté de $1^{kgm}525$ à $3^{kgm}315$.

Ainsi, le paramètre *a* diminue dans toutes les expériences où le travail musculaire est augmenté sous l'influence de l'alcool; il a augmenté dans l'expérience où le travail musculaire s'est trouvé diminué. Mais la diminution de la constante *a* n'est pas la même dans tous les cas d'augmentation de travail. Nous voyons, en effet, que *a* diminue dans un rapport allant de 3 à 1 et de 3 à 2 comme limites extrêmes dans les expériences où *b* est augmenté sous l'influence de l'alcool. Mais dans l'expérience unique où *b* se trouve diminué sous l'influence de l'alcool, *a* diminue dans la proportion de 13 à 1. En résumé, *a* est diminué dans toutes les expériences où le travail est augmenté, mais sa diminution est incomparablement plus grande dans le cas où *b* se trouve diminué.

Quelle interprétation peut-on donner à ces modifications des paramètres de la courbe sous l'influence de l'alcool?

L'augmentation du paramètre *b* sous l'influence de l'alcool vient confirmer la signification physiologique attribuée à ce paramètre, qui traduit l'action excitante des centres nerveux à l'égard du muscle. Il y a donc excitation des centres nerveux par l'alcool. Il est intéressant de noter que même dans l'expérience où le travail mécanique se trouve diminué sous l'influence de l'alcool (Gérard), le paramètre *b* a augmenté. La paralysie a donc été d'origine exclusivement périphérique. Quant à l'interprétation de l'unique expérience où *b* a diminué sous l'influence de l'alcool, elle trouvera sa place un peu plus loin.

La diminution de *a*, qui se retrouve dans toutes les

expériences où le travail musculaire a été augmenté, montre que l'intoxication produite par le travail musculaire est beaucoup moins forte quand le sujet a pris de l'alcool en petite quantité que quand il n'en a pas pris.

Comment expliquer la diminution de toxines dans le muscle légèrement alcoolisé? Une seule explication me paraît possible, et elle est conforme aux données physiologiques récemment établies quant à l'action de l'alcool. A côté des effets excitants qu'il produit sur le système nerveux et qui le font ranger parmi les poisons redoutables quand il est pris en excès, l'alcool est un aliment.

Déjà Frey et Schnyder ont été conduits par leurs expériences ergographiques à attribuer un rôle nutritif à l'alcool, et à distinguer dans ses effets sur le muscle une part qui revient aux centres nerveux et une qui revient à un apport de matériaux nouveaux de combustion. Cette action se dessine très nettement dans les expériences de Frey, qui trouve que seul le muscle fatigué retire un bénéfice de l'alcool, et dans celles de Schnyder, qui trouve que l'action favorable de l'alcool est surtout manifeste quand on est à jeun. Ainsi, la fatigue et le jeûne, états caractérisés par un déficit de substances alimentaires, sont principalement influencés par l'absorption de l'alcool en petite quantité, ce qui permet d'éliminer l'action de l'alcool sur les centres, supposée la même ou à peu près la même dans toutes ces expériences, et permet de prendre en considération l'action alimentaire de l'alcool. Pour les autres preuves, voir à la fin de ce chapitre.

Si l'alcool agit comme un aliment, il fournit au muscle qui travaille de nouveaux matériaux ternaires, facilement

assimilables, ce qui permet au muscle de continuer encore le travail sans la nécessité d'attaquer les matériaux albuminoïdes contenus en lui. Or, si la dépense d'albuminoïdes est diminuée grâce à l'alcool, les toxines doivent nécessairement diminuer dans la même mesure, car il est reconnu aujourd'hui que ce sont les substances issues des albuminoïdes qui possèdent la plus grande toxicité et empêchent le travail. Ce mécanisme paraît d'autant plus probable que le travail est considérablement augmenté sous l'influence de l'action excitante exercée par l'alcool sur les centres nerveux; si la somme disponible d'hydrates de carbone restait la même, et si cet excès de travail devait être produit aux dépens des matières albuminoïdes, la quantité des toxines serait considérablement augmentée. Or, c'est l'inverse qui se produit.

J'arrive donc à conclure que l'alcool exerce une action excitante sur les centres nerveux, laquelle se traduit par une augmentation de la constante b; les centres nerveux excités peuvent agir plus longtemps et plus efficacement sur le muscle; mais ce dernier n'est pas réduit à puiser dans sa propre substance le supplément de travail qui lui est imposé, car l'alcool ingéré lui fournit un apport nouveau de matériaux ternaires. C'est ainsi qu'on arriverait à s'expliquer le rôle d'aliment d'épargne, d'antidéperditeur accordé souvent à l'alcool : il épargnerait les matériaux albuminoïdes en fournissant aux muscles un produit ternaire *rapidement combustible* et pouvant être utilisé instantanément.

Mais quand l'alcool produit des effets paralysants sur le système musculaire (Gérard), alors a est augmenté; on voit que la paralysie périphérique peut coexister avec un

léger état d'excitation des centres. Dans cette expérience, l'alcool, bien que donné à petite dose, a produit des effets paralysants, vu la grande sensibilité du sujet à son égard; et nous voyons se dessiner des effets opposés : augmentation de la quantité de toxines amenant la paralysie précoce du muscle. L'alcool exerce-t-il une action destructive sur le muscle quand il est pris en excès? On ne saurait répondre à cette question. Mais le résultat général concorde bien avec d'autres faits recueillis dans d'autres conditions.

La diminution des toxines dans le muscle légèrement alcoolisé et exécutant du travail à l'ergographe de Mosso explique aussi un fait psychologique de grand intérêt : l'alcool diminue la sensation de fatigue. A l'ergographe, l'effet se traduit par une facilité beaucoup plus grande dans le soulèvement du poids, qui paraît bien plus léger. Frey explique la diminution de la sensation de fatigue par l'action paralysante qu'exercerait l'alcool sur les centres nerveux. Mais il faudrait prouver que la sensation de fatigue a son origine dans les centres nerveux et non dans les muscles. J'ai précisément démontré le contraire dans une série de recherches sur lesquelles je n'insisterai pas ici et qui m'ont conduite à admettre *le siège périphérique de la fatigue*. La question a été magistralement exposée par Woodworth dans son livre sur le *Mouvement* (*).

On attribue actuellement une origine périphérique aussi bien au sens musculaire qu'à la sensation de fatigue. La théorie des « sensations d'innervation » tend aujour-

---

(*) R.-S. Woodworth. *Le Mouvement*. (Bibl. intern. de psychologie expérimentale. Paris, 1903, chez Doin.)

d'hui à disparaître. L'excitant de la sensation est constitué par des actions mécaniques et chimiques venant agir sur les terminaisons nerveuses sensitives contenues dans le muscle. Comme actions mécaniques, il faut considérer le froissement, le tiraillement des extrémités nerveuses lors du mouvement; et comme actions chimiques, les effets de l'excitation par les toxines musculaires, ce qui devient surtout apparent pendant la fatigue. Par conséquent, puisque l'alcool est un aliment pour le muscle, qu'il empêche la désassimilation des matières albuminoïdes et diminue les toxines locales, l'excitation des terminaisons nerveuses sensitives contenues dans le muscle par les toxines est ou bien retardée, ou bien amoindrie. La sensation de fatigue, qui, comme toute sensation, n'est que la répercussion cérébrale d'une excitation périphérique sensorielle, doit nécessairement être diminuée dans son intensité : c'est ce qui se produit en effet. Cette diminution de la sensation de fatigue est même un phénomène qui précède l'action excito-motrice de l'alcool.

Il reste à interpréter la raison physiologique pour laquelle *b* est diminué dans une expérience avec l'alcool. On pourrait peut-être invoquer tout simplement une paralysie centrale, survenant dans cette expérience malgré une dose modérée. La susceptibilité individuelle n'est certes pas invariable. Mais cette explication est dificilement compatible avec l'augmentation de travail mécanique; on ne comprendrait pas comment des centres nerveux affaiblis pourraient inciter le muscle à produire un travail plus grand que le travail habituel. Il faut donc admettre que l'action des centres a été augmentée, et que pourtant *b* diminue.

Voici l'explication la plus plausible. Le paramètre b est attribué à l'action excitante des centres nerveux; mais il est certain que cette action n'est pas simple, mais composée de plusieurs actions dont nous ne pouvons que saisir la résultante. Il est à prévoir, d'après les considérations émises (p. 599) sur les relations des paramètres empiriques avec les paramètres théoriques, que tous les paramètres pourront un jour être décomposés. Ainsi, le paramètre a, attribuable à la perte de puissance produite par l'accumulation des toxines, pourra aussi être décom posé en plusieurs paramètres suivant les différentes classes des toxines produites et d'autres causes moins prépondérantes, et c pourra être décomposé suivant les différentes classes d'hydrates de carbone consommés. C'est en faisant varier dans une large mesure les conditions expérimentales qu'on parviendra à opérer cette disjonction.

Le paramètre b est positif (le seul). Or, il y a plusieurs causes qui tendent à élever les ordonnées de la courbe; par conséquent, b peut être décomposé au moins en 2 paramètres, b_1 et b_2. Supposons que b_1 représente l'action des centres proprement dits et b_2 celle des toxines, musculaires ou autres, qui viendraient exciter les centres nerveux pendant le travail. L'alcool vient exciter les centres nerveux en augmentant b_1; mais si l'action excitante des toxines vient à manquer, b_2 peut diminuer. Si la diminution de b_2 l'emporte sur l'augmentation de b_1, alors b, qui est la somme de deux termes, peut diminuer.

Cette interprétation se vérifie. J'attire l'attention sur ce fait, qu'en général a (toxines) diminue dans les tracés fournis après absorption de l'alcool; mais cette diminu-

tion peut aller du simple au double dans les ergogrammes où *b* est augmenté, alors que dans l'unique ergogramme où *b* diminue avec l'alcool, le paramètre *a* est diminué dans le rapport de 13 à 1. Il semble donc qu'il existe un rapport entre la diminution de *a* et de *b*. L'existence d'un rapport de ce genre sera encore démontrée dans d'autres expériences.

Cette hypothèse paraît la plus vraisemblable, et on peut l'admettre, quitte à l'abandonner plus tard, si une explication meilleure pouvait surgir. On sait que les centres nerveux sont très sensibles aux poisons venus du dehors. Mais il n'a jamais été prouvé qu'ils soient intoxiqués par les poisons de la fatigue musculaire. Dans une série de recherches, j'ai même constaté que les centres de la moelle étaient indemnes de toute fatigue après un travail prolongé des muscles de la jambe (grenouille) (*). Il semble que les poisons de la fatigue appartiennent au groupe des poisons curarisants, qui ont une prédilection marquée pour les terminaisons périphériques des nerfs moteurs et qui respectent les centres. Mais si l'action paralysante des toxines musculaires sur les centres nerveux est inadmissible, il n'en est pas de même de leur action excitante. L'action excitante est compatible avec de très faibles doses, et même le curare, qui paralyse le muscle, est un excitant énergique pour les centres nerveux (expériences récentes de Pagano et celles de L. Mayer). Il n'est pas impossible que les toxines, para-

---

(*) J. Ioteyko, *Recherches expérimentales sur la résistance des centres nerveux médullaires à la fatigue.* (Annales de la Société royale des sciences médicales et naturelles de Bruxelles, t. VIII, 1899.)

lysantes pour le muscle, soient excitantes à l'état très dilué pour les centres nerveux. Ainsi, le paramètre b serait décomposé en deux termes, b_1 et b_2, toujours positifs, mais dont les valeurs respectives pourraient varier suivant les conditions expérimentales. Si les toxines se produisent en grande quantité, b_2 augmente; si elles se produisent en petite quantité, b_2 diminue. Il en résulte que, dans certaines expériences où les centres nerveux sont notoirement excités et où le nombre de soulèvements est très accru, b peut être diminué. Mais pour que l'interprétation émise puisse être acceptée, il faut que, dans ces expériences, a diminue considérablement.

La question de l'alcool m'ayant paru fort intéressante, j'ai institué une autre série d'expériences avec des rythmes plus lents. On sait que le travail effectué à l'ergographe de Mosso consiste d'ordinaire à contracter le doigt toutes les deux secondes. C'est à ce rythme qu'ont été exécutés tous les ergogrammes relatés dans ce mémoire, excepté ceux dont il va être question ici.

On peut réserver le nom d'*ergogrammes de Maggiora* aux courbes où le rythme des contractions est assez lent pour écarter toute fatigue. Ce sont là les conditions du travail optimum. Maggiora (*) a montré que l'intervalle de dix secondes entre les contractions suffit pour que le travail se prolonge indéfiniment. Dans ces conditions, on peut travailler des heures entières à l'ergographe sans aucune fatigue, et les contractions se maintiennent toutes à leur maximum de hauteur.

(*) Maggiora, *Les lois de la fatigue étudiées dans les muscles de l'homme.* (Archives italiennes de biologie, t. XIII, 1890.)

L'emploi des ergogrammes de Maggiora comme procédé de mesure de la fatigue fut proposé simultanément par G. Ballet et J. Philippe, d'une part, et par moi-même, de l'autre, en 1903. Dans leur communication faite au XIIIe Congrès des médecins neurologistes et aliénistes de langue française, tenu à Bruxelles en août 1903, G. Ballet et J. Philippe (*) ont exposé leurs expériences ergographiques faites chez les neurasthéniques comparativement avec d'autres malades nerveux et chez l'homme sain. Après la fatigue, obtenue à l'ergographe de Mosso par le procédé habituel, les individus sains récupèrent leur énergie primitive en contractant le doigt toutes les dix secondes. Chez les neurasthéniques myélasthéniques, au contraire, le muscle ne récupère que très lentement sa puissance d'action, ou bien continue à se fatiguer. Les tracés de Maggiora vont dans ce cas en s'abaissant chez les myopathiques ; chez les malades affectés d'atrophie névritique, les choses se passent comme à l'état normal. Ces résultats constituent, d'après les auteurs, un nouvel argument en faveur de l'opinion d'après laquelle la fatigue chez les neurasthéniques a son origine dans les centres nerveux, et non dans les muscles.

En réponse à cette intéressante communication, j'ai fait connaître immédiatement des expériences dans le même genre que j'avais effectuées chez des personnes normales, mais légèrement alcoolisées, et j'ai ensuite présenté une

---

(*) G. Ballet et J. Philippe, *Étude comparative de la fatigue au moyen de l'ergographe et des ergogrammes, chez l'homme sain, le neurasthénique, le myopathique et dans l'atrophie musculaire névritique.* (XIIIe Congrès des médecins aliénistes et neurologistes de France et des pays de langue française. Bruxelles, août 1903.)

courte note sur le même objet au Congrès d'hygiène, tenu à Bruxelles en septembre 1903 (*).

Toutes ces expériences ont été effectuées sur moi-même pendant l'été 1903. L'alcool est pris à la dose de 20 grammes. On s'assure que normalement l'intervalle de dix secondes suffit pour la réparation intégrale d'une contraction à l'autre; quand, après quarante minutes de travail à l'ergographe, les contractions n'ont pas diminué de hauteur, on considère la preuve comme suffisante. Elle ne l'est peut-être pas complètement, mais il est difficile de résister plus longtemps à l'ennui qu'occasionne une expérience si longue et si monotone. Le sommet des contractions présente des oscillations qui affectent la forme périodique, mais il n'y a aucune tendance à l'abaissement définitif. La première constatation, c'est que sous l'influence de l'alcool, on aperçoit les mêmes périodes et la hauteur des contractions n'est pas augmentée. Le même fait se produit dans tous les ergogrammes de Maggiora pris après l'absorption d'alcool, ce qui prouve définitivement que l'alcool n'augmente pas la hauteur de la contraction. Si, dans les ergogrammes de Mosso, la hauteur totale se trouve augmentée, c'est par suite de l'augmentation du nombre des contractions et aussi parce que la courbe s'abaisse moins vite qu'à l'état normal. L'effet excitant de l'alcool dans l'ergogramme de Mosso se manifeste donc non seulement par l'accroissement du nombre des contractions, mais par une tendance de la contraction à se maintenir à son niveau initial.

(*) J. Ioteyko, *Les effets hypercinétiques de l'alcool étudiés à l'ergographe.* (Congrès international d'hygiène et de démographie. Bruxelles, septembre 1903.)

Quand dans d'autres expériences on travaille avec un rythme de huit secondes (poids 3 kilogrammes), la fatigue arrive vers la vingt-cinquième minute. La même expérience répétée après l'absorption de 20 grammes d'alcool ne s'accompagne d'aucune fatigue.

Quand on travaille avec un rythme de six secondes, la fatigue arrive normalement au bout d'un quart d'heure de travail. Avec l'alcool, l'infatigabilité persiste, même après une heure de travail. Le tracé présente seulement cette particularité, qu'au bout du premier quart d'heure les contractions diminuent un peu de hauteur (d'un quart) et persistent après, non modifiées.

J'ai observé aussi ce fait intéressant qui se produit à l'état normal, que lorsque la fatigue survient après un travail effectué toutes les six secondes, il suffit de ralentir le rythme pour voir les contractions s'élever; après avoir travaillé quelque temps avec un rythme de huit secondes, et la fatigue survenant, on peut de nouveau obtenir un relèvement en prenant le rythme de dix secondes. Cette fois-ci la réparation est intégrale, et le rythme de dix secondes suffit amplement non seulement à réparer les pertes subies d'une contraction à une autre, mais aussi à réparer celles qui subsisteraient après une fatigue antérieure.

Nous voyons dans ces expériences que, sous l'influence de l'alcool, le temps nécessaire pour la réparation intégrale devient plus court. Les sujets légèrement alcoolisés retirent deux bénéfices de l'alcool au point de vue de la puissance musculaire : dans les ergogrammes avec fatigue (ergogrammes de Mosso), la contraction dure plus longtemps; dans les ergogrammes sans fatigue (ergogrammes de Maggiora), la contraction peut se faire avec

un rythme plus fréquent. Bien entendu tous ces résultats ne s'appliquent qu'aux petites doses d'alcool et à des sujets abstinents, c'est-à-dire chez lesquels les petites doses sont actives.

Au premier abord, il semble qu'il soit possible de rattacher l'action de l'alcool sur l'ergogramme de Maggiora à l'action excitante de l'alcool sur les centres nerveux. Il est avéré que l'alcool à petite dose agit sur les centres nerveux en les excitant ; les sujets légèrement alcoolisés se trouveraient donc dans un état exactement opposé à celui des neurasthéniques, chez lesquels la réparation intégrale demande un intervalle de repos plus long que chez les gens normaux.

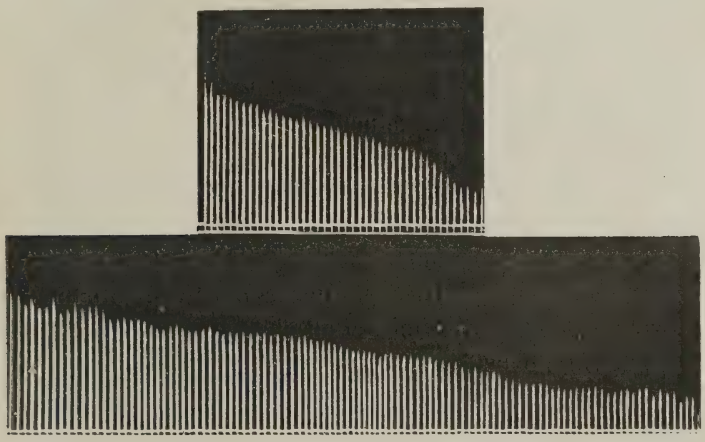


Fig. 6. — Tracé normal (en haut) et tracé-alcool (en bas) de l'auteur (17 août 1903). Grandeur naturelle.

Avant de répondre à cette question, examinons les effets de l'alcool sur l'ergogramme pris suivant un rythme intermédiaire, quatre secondes par exemple. En étudiant

les rythmes intermédiaires, on peut suivre la transformation progressive des courbes de fatigue de Mosso en ergogrammes d'infatigabilité complète. Ainsi, avec un rythme de quatre secondes, on obtient avec l'alcool des tracés d'une longueur extrême (voir figure 6).

Ce qui caractérise l'action hypercinétique de l'alcool, c'est la prolongation de la durée du travail avec tendance à conserver pour les contractions leur maximum de hauteur. Le moteur animé devient ainsi un véritable automate, pouvant travailler sans fatigue et sans sensation de fatigue.

Tâchons maintenant d'expliquer la raison de l'infatigabilité dans les ergogrammes de Maggiora, aussi bien dans les courbes normales que dans les courbes alcooliques.

On admet que normalement le muscle demande dix secondes de repos entre les contractions pour travailler sans fatigue. Cela signifie qu'avec ce rythme il n'y a pas accumulation de fatigue d'une contraction à une autre, c'est-à-dire que pendant cet intervalle de repos les dépenses sont compensées et les produits toxiques éliminés ou neutralisés. Ce qui doit donc caractériser avant tout les ergogrammes de Maggiora au point de vue chimique, c'est l'absence presque complète de produits toxiques. Cette conclusion est absolument formelle.

Sous l'influence de l'alcool, nous voyons l'intervalle indispensable pour la réparation intégrale, diminuer dans de fortes proportions, descendre par exemple à huit secondes et même six secondes. Comme on est habitué à considérer l'alcool surtout comme un excitant, on est conduit à penser immédiatement à une action excitante sur les centres. Cette dernière existe incontestablement, mais on arrive à expliquer beaucoup mieux les phénomènes en considérant l'alcool comme un

aliment. La discussion mathématique nous a montré que l'alcool diminue considérablement le paramètre a, que nous attribuons à la perte de puissance musculaire déterminée par les toxines. Donc, si l'alcool diminue les toxines, on peut travailler avec un rythme plus rapide sans qu'il se produise d'accumulation de la fatigue. Si l'interprétation proposée est exacte, la diminution de a doit être encore plus grande dans les ergogrammes pris au rythme de quatre secondes, qui se rapprochent de l'infatigabilité complète, que dans les courbes prises au rythme de deux secondes; les ergogrammes au rythme de quatre secondes ont tous la même allure. Il suffit d'en calculer un couple (ergogramme normal et ergogramme alcoolique).

Voici l'expérience du 17 août 1903 : Poids, 5 kilogrammes. Rythme des contractions, quatre secondes.

	Nombre.	Hauteur.	Quotient.	$\mathfrak{T}$.
Courbe normale	42	579	13,4	1,737
Courbe prise 5 m. après l'ingestion de 20 grammes d'alcool.	107	1254	11,7	3,762

L'étude mathématique de ces deux courbes a donné les résultats suivants :

	H	a	b	c	ε
Courbe normale	23	0,001006	0,05503	1,0839	0,4
Courbe alcoolique . . .	23	0,000069	0,01166	0,669	1,1

Par conséquent, le paramètre H (hauteur maximum) n'a pas changé, mais les autres paramètres ont été profondément modifiés. Sous l'influence de l'alcool, le paramètre a a diminué treize fois, le paramètre b a diminué cinq fois. Nous retrouvons donc ici les mêmes phénomènes que dans l'expérience de Romain du 13 mars. L'énorme diminution des toxines musculaires coïncide avec l'absence apparente d'excitation des centres nerveux.

Tout porte à croire que les centres nerveux ont été excités, car on sait expérimentalement que l'alcool à petites doses excite les centres; b_1 est donc vraisemblablement augmenté. Mais l'action excitante des toxines étant très faible, b_2 diminue par rapport à l'état normal, et cette diminution de b_2 l'emporte sur l'augmentation de b_1. Le paramètre b, qui est la somme de ces deux termes, est diminué.

Mais le phénomène le plus important dans ce tracé, c'est l'énorme diminution de a. Comme tous les tracés avec l'alcool pris à des rythmes lents se ressemblent, et que plus le rythme est lent, plus ils tendent vers l'infatigabilité complète, nous pouvons en conclure que les paramètres de ces courbes sont à peu près les mêmes.

Il semble donc possible d'expliquer la réparation intégrale qui se produit avec l'alcool pour les rythmes de huit à six secondes, par l'action alimentaire de l'alcool, qui fournit au muscle un combustible permettant d'épargner les matières albuminoïdes.

Il est important de faire ressortir la concordance parfaite de ces résultats et de ces interprétations avec les données récentes fournies par Atwater, Duclaux et

A. Gautier (*). « Il résulte définitivement des observations et expériences modernes les plus irréprochables, écrit Gautier, que l'alcool absorbé par les animaux brûle dans l'économie presque en totalité; au même titre que la graisse et le sucre, il doit être considéré comme un aliment nous procurant la presque totalité de l'énergie correspondant au nombre de calories qu'il produirait s'il était brûlé au calorimètre. Nous pensons pouvoir établir ici, grâce aux recherches les plus récentes, qu'à la façon des graisses et des sucres, l'alcool protège les tissus et en particulier leurs matières protoplasmiques contre la destruction que provoque tout fonctionnement vital, *mais à la condition toutefois qu'il soit donné sans abus,* celui-ci entraînant des effets contraires.

» L'alcool se comporte, en un mot, comme un véritable aliment et même comme un aliment précieux si l'on ne dépasse pas la dose journalière de 1 gramme par kilogramme de poids du corps (p. 257). »

Parmi ces observations, notons particulièrement celles de R. Roseman (**), qui arrive à la conclusion que l'alcool s'oppose à la désassimilation des albuminoïdes.

Tous ces résultats ne s'appliquent qu'aux petites doses d'alcool : ils ne diminuent en rien l'importance sociale de la lutte anti-alcoolique. Mais au point de vue scientifique, l'alcool à petites doses doit être considéré comme un aliment procurant rapidement de la chaleur et de la force et épargnant les matières albuminoïdes. L'interprétation physiologique des ergogrammes de l'alcool conduit aux mêmes résultats.

(*) A. Gautier, *L'alimentation et les régimes chez l'homme sain et chez les malades*. Paris, Masson, 1904, 528 pages.

(**) R. Roseman, *Arch. f. ges. Physiol.*, Bd LXXXVI, 1901.

Détails du calcul des ergogrammes avec tableaux comparatifs des quantités observées et des quantités calculées à chaque instant (*).

(η_o = effort observé, η_c = effort calculé, H = hauteur maximum, T = nombre des contractions.)

Courbe normale.

H = 28,5; T = 18. (Mlle J. Ioteyko, 17 mars 1903.)

t	t^2	t^3	$at^3 + bt^2 - ct$	η_c	η_o	$\eta_o - \eta_c$		*Observations.*
						—	+	
0	0	0	0,0	28,5	28,5	»	»	$a = 0,005994$.
1	1	1	2,5	26,0	26.0	»	»	$b = 0,1699$.
2	4	8	4,8	23,7	25,0	»	1,3	$c = 2,7$.
3	9	27	6,7	21,8	20,5	1,3	»	
4	16	64	8,5	20,0	21,0	»	1,0	
5	25	125	10,0	18,5	18,5	»	»	
6	36	216	11,4	17,1	16,0	1,1	»	
7	49	343	12,6	15,9	14,0	1,9	»	
8	64	512	13,8	14,7	14,5	0,2	»	
9	81	729	14,9	13,6	15,0	»	1,4	
10	100	1000	16,0	12,5	12,5	»	»	
11	121	1331	17,1	11,4	11,0	0,4	»	
12	144	1728	18,3	10,2	11,5	»	1,3	
13	169	2197	19,6	8,9	8,5	0,4	»	
14	196	2716	20,8	7,7	6,5	1,2	»	
15	225	3375	22,5	6,0	5,5	0,5	»	
16	256	4096	24,3	4,2	5,5	»	1,3	
17	289	4913	26,2	2,3	4,5	»	2,2	
18	324	5832	28,5	0,0	0,0	»	»	
						7,0	8,5	$\varepsilon = 1,5 : 19 = 0,1$.

(*) Chaque courbe calculée mathématiquement implique un pareil tableau. Nous ne reproduirons que quelques spécimens.

Courbe de l'alcool.

H = 27; T = 37. (Mlle J. Ioteyko, 17 mars 1903.)

t	t^2	t^3	$at^3 + bt^2 - ct$	η_c	η_o	$\eta_o - \eta_c$ —	$\eta_o - \eta_c$ +	*Observations.*
0	0	0	0,0	27,0	27,0	»	»	$a = 0,002888$.
1	1	1	3,2	23,8	20,5	3,3	»	$b = 0,1786$.
2	4	8	6,1	20,9	17,5	3,4	»	$c = 3,384$.
3	09	27	8,6	18,4	16,0	2,4	»	
4	16	64	10,9	16,1	13,5	2,6	»	
5	25	125	12,8	14,2	13,5	0,7	»	
6	36	216	14,5	12,5	12,5	»	»	
7	49	343	15,9	11,1	13,0	»	1,9	
8	64	512	17,1	9,9	11,0	»	1,1	
9	81	729	18,1	8,9	12,5	»	3,6	
10	100	1000	18,9	8,1	12,5	»	4,4	
11	121	1331	19,5	7,5	12,0	»	4,5	
12	144	1728	19,9	7,1	10,5	»	3,4	
13	169	2197	20,2	6,8	11,0	»	4,2	
14	196	2716	20,2	6,8	11,0	»	4,2	
15	225	3375	20,3	6,7	10,5	»	3,8	
16	256	4096	20,3	6,7	12,0	»	5,3	
17	289	4913	20,3	6,7	11,5	»	4,8	
18	324	5832	19,9	7,1	11,0	»	3,9	
19	361	6859	19,6	7,4	10,0	»	2,6	
20	400	8000	19,3	7,7	9,5	»	1,8	

t	t^2	t^3	$at^3 + bt^2 - ct$	η_c	η_o	$\eta_o - \eta_c$ —	$\eta_o - \eta_c$ +	Observations.
21	441	9261	19,0	8,0	9,5	»	1,5	
22	484	10648	18,8	8,2	10,0	»	1,8	
23	529	12167	18,5	8,5	8,5	»	»	
24	576	13824	18,3	8,7	7,0	1,7	»	
25	625	15625	18,1	8,9	6,0	2,9	»	
26	676	17576	18,0	9,0	5,0	4,0	»	
27	729	19683	18,0	9,0	6,5	2,5	»	
28	784	21952	18,1	8,9	6,5	2,4	»	
29	841	24384	18,4	8,6	5,0	3,6	»	
30	900	27000	18,8	8,2	6,0	2,2	»	
31	961	29791	19,6	7,4	5,0	2,4	»	
32	1024	32768	20,0	7,0	4,0	3,0	»	
33	1089	35937	21,0	6,0	4,0	2,0	»	
34	1156	39304	22,1	4,9	3,5	1,4	»	
35	1225	42875	23,5	3,5	2,5	1,0	»	
36	1296	46656	25,1	1,9	2,5	»	0,6	
37	1369	50653	27,0	0,0	0,0	»	»	
						41,5	53,4	$\varepsilon = 11,9 : 38 = 0,3.$

Courbe normale.

H = 29; T = 15. (Romain, 17 mars 1903.)

t	t^2	t^3	$at^3 + bt^2 - ct$	η_c	η_o	$\eta_o - \eta_c$ --	$\eta_o - \eta_c$ +	*Observations.*
0	0	0	0,0	29,0	29,0	»	»	$a = 0,006667.$
1	1	1	0,4	28,6	28,5	0,1	0,0	$b = 0,00000.$
2	4	8	0,9	28,1	27,5	0,6	0,0	$c = 0,4333.$
3	9	27	1,5	27,5	27,0	0,5	0,0	
4	16	64	2,2	26,8	27,0	0,0	0,2	
5	25	125	3,0	26,0	26,0	»	»	
6	36	216	4,0	25,0	25,5	»	0,5	
7	49	343	5,3	23,7	24,5	0,0	0,8	
8	64	512	6,9	22,1	22,5	0,0	0,4	
9	81	729	8,8	20,2	20,0	0,2	»	
10	100	1000	11,0	18,0	18,0	»	»	
11	121	1331	13,6	15,4	15,0	0,4	»	
12	144	1728	16,7	12,3	13,0	»	0,8	
13	169	2197	20,3	8,7	8,0	0,7	»	
14	196	2716	24,2	4,8	3,0	1,8	»	
15	225	3375	29,0	0,0	0,0	»	»	
						4,3	2,7	$\varepsilon = 1,6 : 16 = 0,1.$

Courbe de l'alcool.

H = 32; T = 25. (Romain, 17 mars 1903.)

t	t^2	t^3	$at^3 + bt^2 - ct$	η_c	η_o	$\eta_o - \eta_c$ —	$\eta_o - \eta_c$ +	*Observations.*
0	0	0	0,0	32,0	32,0	»	»	$a = 0,0049$.
1	1	1	1,1	30,9	32,0	»	1,1	$b = 0,1195$.
2	4	8	2,0	30,0	33,0	»	3,0	$c = 1,205$.
3	9	27	2,7	29,3	31,0	»	1,7	
4	16	64	3,2	28,8	30,5	»	1,7	
5	25	125	3,7	28,3	30,0	»	1,7	
6	36	216	4,0	28,0	29,5	»	1,5	
7	49	343	4,3	27,7	29,0	»	1,3	
8	64	512	4,5	27,5	27,5	»	»	
9	81	729	4,7	27,3	27,5	»	0,2	
10	100	1000	5,0	27,0	26,0	1,0	»	
11	121	1331	5,3	26,7	24,5	2,2	»	
12	144	1728	5,7	26,3	22,5	3,8	»	
13	169	2197	6,2	25,8	25,5	0,3	»	
14	196	2716	6,8	25,2	25,0	0,2	»	
15	225	3375	7,7	24,3	22,5	1,8	»	
16	256	4096	8,8	23,2	22,0	1,2	»	
17	289	4913	10,0	22,0	22,0	2,0	»	
18	324	5832	11,5	20,5	20,5	»	»	
19	361	6859	13,4	18,6	18,5	0,1	»	
20	400	8000	15,5	16,5	16,5	»	»	
21	441	9251	18,0	14,0	15,5	»	1,5	
22	484	10648	20,8	11,2	14,0	»	2,8	
23	529	12167	24,1	7,9	11,5	»	3,6	
24	576	13824	27,8	4,2	6,0	»	1,8	
25	625	15625	32,0	0,0	0,0	»	»	
						12,6	21,9	$\varepsilon = 9,3 : 26 = 0,4$.

Première courbe (normale).

H = 23 ; T = 42. (Mlle J. Ioteyko, 17 août 1903.)

t	t^2	t^3	$at^3 + bt^2 - ct$	η_c	η_o	$\eta_o - \eta_c$	
						—	+
0	0	0	0,0	23,0	23	»	»
1	1	1	1,0	22,0	22	»	»
2	4	8	2,0	21,0	20	»	1,0
3	9	27	2,7	20,3	22	1,7	»
4	16	64	3,5	19,5	21	1,5	»
5	25	125	4,1	18,9	17	»	1,9
6	36	216	4,7	18,3	17	»	1,3
7	49	343	5,2	17,8	17	»	0,8
8	64	512	5,7	17,3	18	0,7	»
9	81	729	6,0	17,0	17	»	»
10	100	1000	6,4	16,6	17	0,4	»
11	121	1331	6,6	16,4	16	»	0,4
12	144	1728	6,8	16,2	15	»	1,2
13	169	2197	6,9	16,0	16	»	»
14	196	2716	7,1	15,9	15	»	0,9
15	225	3375	7,2	15,8	16	0,2	»
16	256	4096	7,4	15,6	15	»	0,6
17	289	4913	7,4	15,6	15	»	0,6
18	324	5832	7,5	15,5	15	»	0,5
19	361	6859	7,6	15,4	15	»	0,4
20	400	8000	7,7	15,3	14	»	1,3
21	441	9261	7,8	15,2	13	»	2,2
						4,5	13,1

t	t^2	t^3	$at^3 + bt^2 - ct$	η_c	η_o	$\eta_o - \eta_c$	
						—	+
						4,5	13,1
22	484	10648	7,9	15,1	14	»	1,1
23	529	12167	8,1	14,9	14	»	0,9
24	576	13824	8,2	14,8	13	»	1,8
25	625	15625	8,5	14,5	14	»	0,5
26	676	17576	8,7	14,3	14	»	0,3
27	729	19683	9,0	14,0	12	»	2,0
28	784	21952	9,2	13,8	12	»	1,8
29	841	24389	9,7	13,3	13	»	0,3
30	900	27000	10,2	12,8	11	»	1,8
31	961	29791	10,8	12,2	11	»	1,2
32	1024	32768	11,3	11,7	10	»	1,7
33	1089	35937	12,1	10,9	11	0,1	»
34	1156	39304	12,8	10,2	10	»	0,2
35	1225	42875	13,7	9,3	8	»	1,3
36	1296	46656	14,6	8,4	8	»	0,4
37	1369	50653	15,8	7,2	9	1,8	»
38	1444	54872	16,9	6,1	5	»	1,1
39	1521	59319	18,3	4,7	5	0,3	»
40	1600	64000	19,7	3,3	4	0,7	»
41	1681	68921	21,4	1,6	5	3,4	»
42	1764	74088	23,0	0,0	0	»	»
						10,8	29,5

Écart moyen. . 18,7 : 43 = 0,4

Deuxième courbe (alcool).

H = 23; T = 107. (Mlle J. Ioteyko, 17 août 1903.)

t	t^2	t^3	$at^3 + bt^2 - ct$	η_c	η_o	$\eta_o - \eta_c$	
						—	+
0	0	0	0,0	23,0	23	»	»
1	1	1	0,7	22,3	19	»	3,3
2	4	8	1,3	21,7	17	»	4,7
3	9	27	1,9	21,1	19	»	2,1
4	16	64	2,5	20,5	17	»	3,5
5	25	125	3,0	20,0	17	»	3,0
6	36	216	3,6	19,4	19	»	0,4
7	49	343	4,1	18,9	16	»	2,9
8	64	512	4,6	18,4	17	»	1,4
9	81	729	5,1	17,9	18	0,1	»
10	100	1000	5,6	17,4	17	»	0,4
11	121	1331	6,0	17,0	17	»	»
12	144	1728	6,5	16,5	19	2,5	»
13	169	2197	6,9	16,1	19	2,9	»
14	196	2716	7,3	15,7	15	»	0,7
15	225	3375	7,6	15,4	15	»	0,4
16	256	4096	8,0	15,0	16	1,0	»
17	289	4913	8,3	14,7	15	0,3	»
18	324	5832	8,7	14,3	16	1,7	»
19	361	6859	9,0	14,0	15	1,0	»
20	400	8000	9,3	13,7	14	0,3	»
21	441	9261	9,5	13,5	14	0,5	»
22	484	10648	9,8	13,2	14	0,8	»
23	529	12167	10,0	13,0	14	1,0	»
24	576	13824	10,3	12,7	16	3,3	»
25	625	15625	10,5	12,5	15	2,5	»
26	676	17576	10,7	12,3	14	1,7	»
27	729	19683	10,9	12,1	14	1,9	»
						21,5	22,8

t	t^2	t^3	$at^3 + bt^2 - ct$	η_c	η_o	$\eta_o - \eta_c$	
						—	+
						21,5	22,8
28	784	21952	11,1	11,9	14	2,1	»
29	841	24389	11,3	11,7	15	3,3	»
30	900	27000	11,4	11,6	14	2,4	»
31	961	29791	11,6	11,4	13	1,6	»
32	1024	32768	11,7	11,3	14	2,7	»
33	1089	35937	11,8	11,2	14	2,8	»
34	1156	39304	12,0	11,0	15	4,0	»
35	1225	42875	12,1	10,9	14	3,1	»
36	1296	46656	12,2	10,8	14	3,2	»
37	1369	50653	12,3	10,7	14	3,3	»
38	1444	54872	12,4	10,6	13	2,4	»
39	1521	59319	12,4	10,6	14	3,4	»
40	1600	64000	12,5	10,5	14	3,5	»
41	1681	68921	12,6	10,4	14	3,6	»
42	1764	74088	12,7	10,3	13	2,7	»
43	1849	79507	12,7	10,3	13	2,7	»
44	1936	85184	12,8	10,2	14	3,8	»
45	2025	91125	12,8	10,2	13	2,8	»
46	2116	97336	12,8	10,2	14	3,8	»
47	2209	103823	12,8	10,2	14	3,8	»
48	2304	110592	12,9	10,1	13	2,9	»
49	2401	117649	12,9	10,1	13	2,9	»
50	2500	125000	12,9	10,1	13	2,9	»
51	2601	132651	12,9	10,1	12	1,9	»
52	2704	140608	13,0	10,0	11	1,0	»
53	2809	148877	13,0	10,0	11	1,0	»
54	2916	157464	13,0	10,0	12	2,0	»
55	3025	166375	13,0	10,0	11	1,0	»
56	3136	175616	13,1	9,9	9	»	0,9
57	3249	185193	13,1	9,9	11	1,1	»
						99,2	23,7

t	t^2	t^3	$at^3 + bt^2 - ct$	η_c	η_o	$\eta_o - \eta_c$	
						—	+
						99,2	23,7
58	3364	195112	13,1	9,9	11	1,1	»
59	3481	205379	13,2	9,8	11	1,2	»
60	3600	216000	13 2	9,8	10	0,2	»
61	3721	226981	13,2	9,8	12	2,2	»
62	3844	238328	13,2	9,8	12	2,2	»
63	3969	250047	13,2	9,8	11	1,2	»
64	4096	262144	13,2	9,8	11	1,2	»
65	4225	274625	13,2	9,8	10	0,2	»
66	4356	287496	13,3	9,7	10	0,3	»
67	4489	300763	13,3	9,7	10	0,3	»
68	4624	314432	13,4	9,6	11	1,4	»
69	4761	328509	13,4	9,6	10	0,4	»
70	4900	343000	13,5	9,5	10	0,5	»
71	5041	357911	13,5	9,5	11	1,5	»
72	5184	373248	13,6	9,4	11	1,6	»
73	5329	389017	13,7	9,3	10	0,7	»
74	5476	405224	13,7	9,3	10	0,7	»
75	5625	421875	13,8	9,2	9	»	0,2
76	5776	438976	13,9	9,1	10	0,9	»
77	5929	456533	14,0	9,0	8	»	1,0
78	6084	474552	14,1	8,9	8	»	0,9
79	6241	493039	14,2	8,8	9	0,2	»
80	6400	512000	14,4	8,6	9	0,4	»
81	6561	531441	14,5	8,5	8	»	0,5
82	6724	551368	14,7	8,3	8	»	0,3
83	6889	571787	14,8	8,2	6	»	2,2
84	7056	592704	15,0	8,0	8	»	»
85	7225	614125	15,2	7,8	7	»	0,8
86	7396	636056	15,4	7,6	7	»	0,6
87	7569	658503	15,6	7,4	9	1,6	»
						119,2	30,2

t	t^2	t^3	$a^3 + b^3 - c$	η_c	η_o	$\eta_o - \eta_c$ —	$\eta_o - \eta_c$ +
						119,2	30,2
88	7744	681472	15,8	7,2	6	»	1,2
89	7921	704969	16,0	7,0	6	»	1,0
90	8100	729000	16,3	6,7	8	1,3	»
91	8281	753571	16,6	6,4	8	1,6	»
92	8464	778688	16,8	6,2	7	0,8	»
93	8649	804357	17,1	5,9	6	0,1	»
94	8836	830584	17,4	5,6	6	0,4	»
95	9025	857375	17,7	5,3	6	0,7	»
96	9216	884736	18,1	4,9	5	0,1	»
97	9409	912673	18,4	4,6	7	2,4	»
98	9604	941192	18,8	4,2	8	3,8	»
99	9801	970299	19,2	3,8	4	0,2	»
100	10000	1000000	19,6	3,4	7	3,6	»
101	10201	1030301	20,1	2,9	6	3,1	»
102	10404	1061208	20,5	2,5	6	3,5	»
103	10609	1097727	20,9	2,1	4	1,9	»
104	10816	1124864	21,4	1,6	5	3,4	»
105	11025	1157625	21,9	1,1	5	3,9	»
106	11236	1191016	22,4	0,6	3	2,4	»
107	11449	1225043	23,0	0,0	0	»	»
						152,4	32,4
							»
							»
			Écart moyen. .			120 : 108 = 1,1	»

VII. — Sucre.

Les expériences avec le sucre ont été faites surtout dans le but de vérifier l'exactitude des sens attribués au paramètre *a* et au paramètre *c*.

Le sucre est un aliment de tout premier ordre, et il n'est pas un excitant. S'il exerce une certaine action excitante liée à son action nutritive, elle est négligeable quand on la compare à l'ébriété alcoolique. Le sucre augmente aussi le travail mécanique; mais, comme cette action est directement liée à son pouvoir nutritif, les ergogrammes doivent présenter une diminution de *a*, sans que *b* soit augmenté. En outre, le paramètre *c* exprime la perte de puissance musculaire due à l'usure des hydrates de carbone; en fournissant aux muscles une nouvelle provision de sucre, on peut donc s'attendre à voir diminuer le paramètre *c*. Ces modifications doivent nécessairement se produire si l'interprétation accordée aux paramètres est exacte; car dans cette expérience (ingestion de sucre), l'action physiologique exercée sur l'organisme est très simple et l'effet, s'il se produit, ne peut être rapporté à une autre cause qu'à celle qu'exerce le sucre comme aliment.

Quelques mots sur l'ergographie du sucre. Ugolino Mosso et L. Paoletti (*) ont expérimenté les premiers l'action du

---

(*) Ugolino Mosso et L. Paoletti, *Influence du sucre sur le travail musculaire.* (Archives italiennes de biologie, t. XXI, 1894.)

sucre, dès l'origine des études ergographiques. Ils prenaient de dix en dix minutes leur courbe de fatigue après avoir ingéré des quantités variables de sucre. Le sucre augmente notablement le travail mécanique. Les petites doses et les moyennes (5 à 60 grammes) développent dans le muscle fatigué la plus grande énergie; avec les doses graduellement supérieures à 60 grammes, le travail diminue graduellement. Le maximum d'action apparaît presque immédiatement pour les petites doses; au bout de trente à quarante minutes, pour les doses moyennes. Les auteurs préconisent l'eau sucrée comme liqueur sportive (cyclistes, alpinistes, soldats). Elle pourrait également être employée avec succès pour redonner une force nouvelle à l'utérus fatigué par le travail de l'accouchement. Le meilleur breuvage correspond à 60 ou 100 grammes de sucre pour 1 litre d'eau.

Pour Vaughan Harley (*), la consommation de grandes quantités de sucre accroît le pouvoir musculaire de 26 à 33 %, et, avec le retard de la fatigue, l'accroissement pour la journée peut atteindre 61 à 76 %.

En Allemagne, Schumburg (**), médecin militaire, fut chargé par le Ministère de la Guerre de vérifier dans quelle mesure peuvent être acceptables les conclusions de Ug. Mosso quant à l'action réparatrice du sucre sur le muscle fatigué. Le sujet en expérience recevait un

---

(*) Vaughan Harley, *The value of sugar and the effect of smoking on muscular work.* (Journ. of Physiology, t. XVI, 1894.)

(**) W. Schumburg, *Ueber den Einfluss des Zuckergenusses auf die Leistungsfähigkeit der Muskulatur.* (Archiv für Physiologie, 1896.)

jour 30 grammes de sucre, et l'autre jour 0gr25 de dulcine (sans doute saccharine), qui possédait exactement le même goût que le sucre. Le travail était augmenté tantôt avec le sucre, tantôt avec la dulcine. Le travail ergographique ne put être amélioré par le sucre que dans les expériences où le sujet s'était livré, avant l'épreuve ergographique, à un travail musculaire très intense de tout le corps. Schumburg explique de la manière suivante cette différence dans la réaction du sujet. Le travail des muscles fléchisseurs n'enlève que très peu de glucose au sang circulant, comparativement à tout le glucose contenu dans la masse sanguine; il en résulte que les muscles fléchisseurs restent indifférents à une augmentation de la teneur du sang en glucose après ingestion de sucre. Il en est tout autrement après un travail corporel intense, quand tout le glucose contenu dans le sang a été utilisé. Le sucre introduit peut alors produire son plein effet sur les muscles fléchisseurs, et le travail ergographique est augmenté. La dulcine est inefficace dans ces conditions. Le sucre à la dose de 30 grammes augmente donc sensiblement la force du muscle très fatigué et hâte la restauration; par son action sur le système nerveux, il efface le sentiment de la fatigue. C'est un vrai aliment.

Cette explication est exacte. Elle concorde d'ailleurs avec celle qu'a donnée H. Frey quant à l'action réparatrice de l'alcool sur le muscle fatigué. Mais alors, comment expliquer que Ug. Mosso et Paoletti ont constaté de par le sucre une notable augmentation de travail à l'ergographe, sans que l'individu ait été astreint à un travail physique préalable? Comment aussi expliquer que, d'après H. Frey, l'action dynamogène de l'alcool ne se montre

que dans les ergogrammes avancés dans la série, alors que dans les expériences d'autres auteurs, et notamment dans les miennes, l'action de l'alcool se manifeste dès la première courbe? Ces différences tiennent, à n'en pas douter, à des particularités individuelles et doivent se rattacher aux conditions qui déterminent la forme de la courbe. Nous savons que chaque personne présente une caractéristique personnelle de sa courbe de fatigue; les paramètres *a*, *b*, *c*, qui restent invariables pour chaque personne dans des conditions identiques, correspondent aux processus chimiques et physiologiques qui s'accomplissent dans le muscle pendant le travail. Chez telle personne, la fatigue est due plutôt à l'usure des hydrates de carbone; chez une autre, elle est peut-être occasionnée par les progrès rapides de l'intoxication, etc.

Il est probable que, chez certaines personnes, déjà la fatigue ergographique suffit pour appauvrir le sang dans sa teneur en glucose; dans ces cas, le travail ergographique est amélioré par l'introduction du sucre dans la circulation (Ug. Mosso), et, suivant les susceptibilités individuelles, cette action peut se manifester dès la première courbe, ou seulement dans les courbes avancées dans la série. Chez d'autres personnes, puissamment pourvues de réserves de glucose, le travail ergographique n'influe pas sur la teneur du sang en glucose, et pour que le sucre puisse apparaître actif, il faut un déficit de glucose causé par un travail physique préalable.

Mes expériences avec le sucre ont été faites sur trois personnes : MM. Pinsonnat et Leroy et Mlle V. Kipiani. J'ai poursuivi ces expériences pendant tout l'hiver 1903-1904, en modifiant les doses de sucre, le temps écoulé après

l'ingestion, le nombre d'ergogrammes, l'intervalle de repos entre les numéros d'ordre des ergogrammes. Le résultat a été absolument nul, ce qui démontre l'absence de suggestibilité de la part des sujets, et aussi ce fait que l'action gustative du sucre ne détermine par elle-même aucune influence. Le breuvage était, en effet, fortement sucré.

J'ai alors songé à soumettre mes sujets au jeûne. Mais l'effet du jeûne complet jusqu'à 4 heures de l'après-midi n'a produit aucune diminution de l'ergogramme chez Pinsonnat et Leroy, et l'ingestion consécutive de sucre à la dose de 30 grammes n'a produit non plus aucune influence restauratrice. Ces expériences, malgré leur résultat négatif, sont intéressantes. Elles démontrent que les personnes en question ne sont même pas influencées par un jeûne durant depuis le soir jusqu'au lendemain 4 heures, soit environ vingt heures, et que le foie fournit encore en abondance du glucose. Ce fait étant prouvé, et le glucose étant en quantité suffisante, on est en droit d'admettre que la fatigue ergographique est produite principalement par une intoxication due aux déchets de la combustion, et non par le manque de matériaux combustibles.

Par contre, le jeûne s'est montré efficace chez Mlle Kipiani.

Mlle V. Kipiani a bien voulu se soumettre deux fois à un jeûne complet jusqu'à 4 heures de l'après-midi. A 3 heures, elle donne trois courbes de l'inanition ; à 3 $^1/_2$ heures, elle absorbe 25 grammes de sucre ou de glucose dans de l'eau et à 4 heures elle donne de nouveau trois courbes. Dans l'expérience du 26 janvier, elle absorbait du sucre

qu'elle reconnaissait à son goût; mais le 1er mars, on lui donnait du glucose sans qu'elle se doutât de la nature du produit. Poids : 3kg5; intervalle entre les courbes : une minute; rythme : deux secondes.

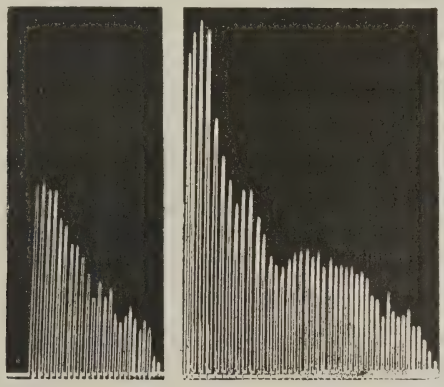
Mlle Kipiani (26 janvier 1904).	Hauteur.	Nombre.	Quotient	Ꞓ.
Ergogrammes-inanition (*).				
1er ergogramme	651	37	17,59	2,278
2e —	356	26	13,60	1,246
3e —	258	24	10,75	0,903
Ergogrammes-sucre.				
1er ergogramme	805	41	21,20	3,045
2e —	492	35	14,05	1,722
3e — . , . .	307	31	9,91	1,076

L'action dynamogène du sucre se manifeste dans les trois courbes avec une augmentation de la hauteur moyenne dans les deux premières courbes et une légère diminution de la hauteur moyenne dans la troisième. Le poids paraît plus léger quand on a pris du sucre. On a aussi une sensation interne de restauration.

Le 1er mars, les courbes obtenues présentent graphiquement la plus grande ressemblance avec les courbes

(*) Hauteur totale des soulèvements en millimètres; N = nombre de soulèvements dans chaque ergogramme; travail en kilogrammètres. Quotient de fatigue ou hauteur moyenne en millimètres.

précédentes. Nous n'analyserons que la première courbe-inanition et la première courbe-glucose (fig. 7).



Inanition. Glucose.

Fig. 7. — Mlle Kipiani (1er mars 1904). Grandeur naturelle.

Mlle Kipiani (1er mars 1904).	Hauteur.	Nombre.	Quotient.	Ɛ.
Ergogramme-inanition . .	339	24	14,1	1,186
Ergogramme-glucose . .	762	43	17,7	2,667

Dans l'inanition, le travail est notablement diminué par rapport à d'autres courbes, que nous considérons comme normales.

Sous l'influence du glucose, le travail est considérablement augmenté, avec accroissement du quotient de

fatigue, c'est-à-dire de la hauteur moyenne. Cette dernière influence est bien en rapport avec une action purement musculaire.

Le calcul des paramètres de ces deux courbes (1er mars) a donné les résultats suivants :

Mlle Kipiani (1er mars 1904).	H	*a*	*b*	*c*	ε
1re courbe-inanition . .	40	0,00676	0,30004	4,9662	1,35
2e courbe (25 grammes de glucose).	48	0,0019	0,1517	3,9613	0,4

Le résultat est presque schématique. Le paramètre *c* diminue dans la courbe-glucose, ce qui montre que la perte de puissance due à la consommation de sucre est diminuée, c'est-à-dire qu'à chaque instant le glucose disponible augmente : ce qui devait être. En outre, le sucre étant un aliment par excellence pour le travail musculaire, il empêche la désassimilation des albuminoïdes et les toxines sont en quantité moindre : c'est ce que démontre la diminution de *a* dans la courbe-glucose, dans le rapport de 6 : 1 comparativement à l'état d'inanition. Enfin, le paramètre *b* diminue dans la courbe-glucose comparativement à l'état d'inanition, ce dernier état s'accompagnant d'excitation cérébrale. L'excitation cérébrale diminue ou cesse quand on prend du sucre.

Enfin, nous trouvons en même temps l'explication du fait de la diminution de la sensation de fatigue qu'on éprouve aussi en ingérant du sucre, et qui n'est pas

spéciale à l'alcool, bien qu'avec l'alcool elle soit plus accentuée. Cette diminution de la sensation de fatigue n'a pas une origine centrale, mais une origine périphérique. Cette sensation étant due à l'excitation des terminaisons nerveuses sensitives contenues dans le muscle, elle doit nécessairement diminuer d'intensité ou être retardée quand les toxines sont produites en quantité moindre.

J'ai cru inutile de multiplier ces expériences, assez pénibles d'ailleurs, car elles demandent un jeûne assez prolongé. Je me suis contentée des calculs des paramètres d'un seul couple de courbes, car toutes les autres avaient un aspect identique.

Mais en face de l'importance des résultats fournis par Mlle Kipiani, j'ai jugé nécessaire de contrôler la suggestibilité du sujet. J'attire l'attention sur ce fait, que l'influence de la suggestion sur les paramètres est impossible pour la raison évidente qu'ils ne peuvent être connus qu'après un long et minutieux calcul. Mais la suggestion pourrait agir en augmentant le travail mécanique; il est vrai que dans l'expérience avec le glucose, le sujet ignorait la nature du produit ingéré. L'expérience suivante montre que la suggestibilité de Mlle Kipiani n'a pu fausser les résultats. Après avoir donné trois courbes normales, elle reçoit un cachet vide, et je m'efforce de lui persuader que la substance ingérée est très active et que l'augmentation de force sera sûrement importante. Malgré cette affirmation, les trois nouveaux tracés fournis diffèrent peu des tracés témoins.

Détails du calcul des ergogrammes avec tableaux comparatifs des quantités observées et des quantités calculées à chaque instant.

(η_o = effort observé, η_c = effort calculé, H = hauteur maximum, T = nombre des contractions.)

Première courbe (inanition).

H = 40; T = 24. (Mlle V. Kipiani, 1er mars 1903.)

t	t^2	t^3	$at^3 + bt^2 - ct$	η_c	η_o	$\eta_o - \eta_c$ —	$\eta_o - \eta_c$ +
0	0	0	0,0	40,0	40	»	»
1	1	1	4,7	35,3	34	»	1,3
2	4	8	8,8	31,2	25	»	6,2
3	9	27	12,1	27,9	25	»	2,9
4	16	64	15,5	24,5	21	»	3,5
5	25	125	18,0	22,0	20	»	2,0
6	36	216	20,5	19,5	18	»	1,5
7	49	343	22,2	17,8	18	0,2	»
8	64	512	24,0	16,0	16	»	»
9	81	729	25,2	14,8	14	»	0,8
10	100	1000	26,4	13,6	10	»	3,6
11	121	1331	27,2	12,8	13	0,2	»
12	144	1728	28,1	11,9	10	»	1,9
13	169	2197	28,6	11,4	12	0,6	»
14	196	2716	29,1	10,9	8	»	2,9
15	225	3375	29,8	10,2	7	»	3,2
16	256	4096	30,4	9,6	8	»	1,6
17	289	4913	31,1	8,9	9	0,1	»
18	324	5832	31,7	8,3	8	»	0,3
19	361	6859	32,6	7,4	6	»	1,4
20	400	8000	33,5	6,5	8	1,5	»
21	441	9261	34,8	5,2	6	0,8	»
22	484	10648	36,1	3,9	2	»	1,9
23	529	12167	38,1	1,9	1	»	0,9
24	576	13824	40,0	0,0	0	»	»
						3,4	35,9

Écart moyen. . 32,5 : 25 = 1,35

Observations : $a = 0,00676$. $b = 0,30004$. $c = 4,9662$.

Deuxième courbe (glucose).

H = 48; T = 43. (Mlle V. Kipiani, 1er mars 1903.)

t	t^2	t^3	$at^3 + bt^2 - ct$	η_c	η_o	$\eta_o - \eta_c$	
						—	+
0	0	0	0,0	48,0	44	»	4,0
1	1	1	3,8	44,2	47	2,8	»
2	4	8	7,3	40,7	48	7,3	»
3	9	27	10,4	37,6	47	9,4	»
4	16	64	13,5	34,5	35	0,5	»
5	25	125	16,1	31,9	30	»	1,9
6	36	216	18,7	29,3	26	»	3,3
7	49	343	20,8	27,2	23	»	4,2
8	64	512	23,0	25,0	25	»	»
9	81	729	24,7	23,3	25	1,7	»
10	100	1000	26,4	21,6	21	»	0,6
11	121	1331	27,7	20,3	19	»	1,3
12	144	1728	29,1	18,9	16	»	2,9
13	169	2197	30,1	17,9	15	»	2,9
14	196	2716	31,1	16,9	15	»	1,9
15	225	3375	31,8	16,2	16	»	0,2
16	256	4096	32,7	15,3	17	1,3	»
17	289	4913	33,2	14,8	18	3,2	»
18	324	5832	33,7	14,3	17	2,7	»
19	361	6859	34,0	14,0	16	2,0	»
20	400	8000	34,4	13,6	17	3,4	»
21	441	9261	34,6	13,4	15	1,6	»
						35,9	23,2

Observations : $a = 0{,}0019$. $b = 0{,}1517$. $c = 3{,}9613$.

t	t^2	t^3	$at^3 + bt^2 - ct$	η_c	η_o	$\eta_o - \eta_c$	
						—	+
						35,9	23,2
22	484	10648	34,9	13,1	16	2,9	»
23	529	12167	35,1	12,9	15	2,1	»
24	576	13824	35,2	12,8	15	2,2	»
25	625	15625	35,3	12,7	15	2,3	»
26	676	17576	35,4	12,6	15	2,4	»
27	729	19683	35,6	12,4	14	1,6	»
28	784	21952	35,7	12,3	14	1,7	»
29	841	24389	35,9	12,1	13	0,9	»
30	900	27000	36,0	12,0	11	»	1,0
31	961	29791	36,3	11,7	10	»	1,7
32	1024	32768	36,6	11,4	8	»	3,4
33	1089	35937	37,1	10,9	11	0,1	»
34	1156	39304	37,5	10,5	9	»	1,5
35	1225	42875	38,2	9,8	8	»	1,8
36	1296	46656	38,8	9,2	8	»	»
37	1369	50653	39,8	8,2	9	0,8	»
38	1444	54872	40,7	7,3	6	»	1,3
39	1521	59319	41,9	6,1	6	»	0,1
40	1600	64000	43,0	5,0	4	»	1,0
41	1681	68921	44,6	3,4	2	»	1,4
42	1764	74088	46,1	1,9	1	»	0,9
43	1849	79507	48,0	0,0	0	»	»
						52,9	37,3

Écart moyen. . 15,6 : 44 = 0,4

VIII. — Anémie du bras.

Dans le but de vérifier la signification accordée aux paramètres *a* et *c*, j'instituai des expériences avec l'anémie complète du bras. Dans ses recherches sur les différentes conditions de travail à l'ergographe, Maggiora a vu la force musculaire décroître sensiblement après la compression de l'artère humérale (*). Avant l'anémie, il a pu produire $2^{kgm}736$; après l'anémie, $0^{kgm}650$. Il est à noter que la courbe du travail, sous l'influence de l'anémie, affecte une allure hyperbolique, d'après l'auteur. Mais l'aptitude à exécuter une première contraction maximum n'est pas perdue; lorsque l'anémie cesse, les contractions augmentent rapidement de hauteur.

Que se produit-il dans l'anémie locale ? La circulation étant arrêtée, il n'y a plus de renouvellement de glucose par le sang, et les substances toxiques produites par le travail restent sur place, ne pouvant être entraînées au loin. De plus, en l'absence d'oxygène, dont la réserve s'épuise rapidement, ces produits toxiques gardent tout leur pouvoir nocif. On sait, en effet, que c'est à l'oxygène qu'incombe une part des fonctions antitoxiques dans l'organisme. En conséquence, la fatigue ergographique dans l'anémie se distinguera de la fatigue avec circulation par une usure plus rapide des hydrates de carbone et par une intoxication plus forte.

(*) Maggiora, *Les lois de la fatigue étudiées dans les muscles de l'homme.* (Archives italiennes de biologie, t. XIII, 1890.)

Je dois ici dissiper un doute qui pourrait venir à l'esprit du lecteur. On pourrait se demander si la réduction de l'ergogramme dans l'anémie par exemple, ou pour toute autre cause, ne doit pas nécessairement modifier les paramètres par le fait même de la réduction du tracé. On peut répondre avec toute certitude qu'il n'en est rien. Seul H change évidemment, si le tracé est réduit ; mais *a*, *b*, *c* ne varient pas s'il se produit une réduction photographique de l'ergogramme. Les paramètres changent dans le cas seulement où il se produit un *changement de la forme du tracé*. Et l'anémie est précisément un des meilleurs exemples qui démontrent que la *forme* du tracé est réellement l'expression des conditions physiologiques et psychologiques dans lesquelles s'accomplit le travail. Cette constatation de A. Mosso a donc été très féconde en résultats. Mais à cette notion indéterminée qu'est la forme du tracé, nous substituons la conception des paramètres qui varient quand la forme du tracé varie; et, comme les paramètres correspondent à des processus physiologiques, nous avons là un repère qui indique le sens des phénomènes et, jusqu'à une certaine limite, leur mesure.

En somme, en produisant l'anémie, nous produisons physiologiquement des effets opposés à ceux que nous déterminons en administrant du sucre.

Il a été fait quatre expériences avec l'anémie complète du bras, chez des sujets déjà très bien entraînés à l'ergographe (Pinsonnat, Leroy, Gérard). Pour produire l'anémie, le membre supérieur entier est élevé et l'on pose une forte ligature de caoutchouc vers le milieu du bras. Immédiatement les ongles bleuissent et l'avant-bras

devient livide. Cette ligature, posée très haut, n'empêche donc en rien les mouvements des fléchisseurs et l'expérience peut se faire comme d'ordinaire. On a pris chaque fois au préalable un tracé normal. Voici les procès-verbaux de ces quatre expériences.

I. Pinsonnat, 27 février 1904. Poids : $4^{kg}5$; rythme : deux secondes. Entre l'épreuve normale et l'épreuve anémie, il s'écoule une heure. La courbe de l'anémie est prise immédiatement après la pose de la ligature. Pas de fourmillement pendant la courbe. Pas de douleur. Quand la courbe de l'anémie est finie, on se repose deux minutes; si l'on veut redonner une nouvelle courbe, impossibilité complète de soulever le poids, même celui de 2 kilogrammes. Il n'y a donc pas de réparation, ce qui montre que l'anémie a été complète.

Pinsonnat (27 février 1904).	Hauteur.	Nombre.	Quotient.	Ꞇ
Courbe normale	816	32	25,5	3,674
Courbe de l'anémie . . .	600	30	20,0	2,700

L'expérience a été faite immédiatement après la ligature; la diminution de travail est donc moins accentuée que dans les expériences suivantes; pourtant elle est

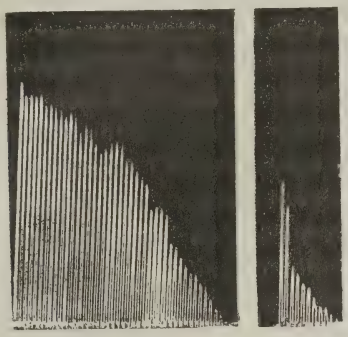
très nette. En regardant le tracé, on s'aperçoit que la première contraction n'est pas diminuée de hauteur, le nombre total des contractions est peu modifié, mais la diminution de travail mécanique est due à un abaissement rapide de la contraction. La hauteur moyenne (quotient de fatigue) (*) est en effet notablement diminuée dans la courbe de l'anémie. Cette constatation confirme pleinement la signification physiologique que j'avais attribuée au quotient de fatigue; il s'abaisse pour les causes touchant le muscle et non les centres nerveux, qui sont indemnes dans cette expérience. J'attire aussi l'attention sur la non-réparation dans le travail sous l'influence de l'anémie chez l'homme.

II. Leroy, 27 février 1904. Poids : $4^{kg}5$; rythme : deux secondes. Entre l'épreuve normale et l'épreuve de l'anémie, il s'écoule une heure d'intervalle. La courbe de l'anémie est prise *quatre minutes* après la ligature. Le fourmillement est intense pendant l'expérience, mais pas de douleur. Quand la courbe de l'anémie est finie, on attend deux minutes et l'on essaie de redonner une nouvelle courbe. Le soulèvement de $4^{kg}5$ est devenu impossible. On parvient à faire quatre petits soulèvements avec 2 kilogrammes. Ce n'est pas un phénomène de réparation, car normalement, après une fatigue avec un poids lourd, on peut produire immédiatement un

---

(*) La hauteur totale est calculée en millimètres; quotient de fatigue ou hauteur moyenne, en millimètres; travail, en kilogrammètres.

travail considérable avec un poids plus léger. L'anémie a donc été complète (fig. 8).



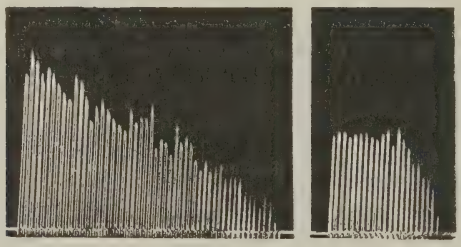
Courbe normale. Courbe de l'anémie.

Fig. 8. — M. Leroy. Anémie complète du bras. Expérience du 27 février 1904. Poids : $4^{kg}5$. Grandeur naturelle.

Leroy (27 février 1904).	Hauteur.	Nombre.	Quotient.	Ɛ
Courbe normale	817	42	19,5	3,676
Courbe de l'anémie . . .	70	11	6,4	0,315

Ce tracé est des plus intéressants. La force des deux premières contractions est assez grande et la décroissance s'opère subitement. La diminution de la hauteur moyenne est considérable (de $19^{mm}5$ à $6^{mm}4$); le travail mécanique est diminué douze fois. Il semble qu'il soit possible d'expliquer aussi pourquoi, malgré une diminution si grande d'excitabilité, Leroy a pu encore fournir,

après repos, plusieurs contractions avec un poids plus léger, alors que Pinsonnat, dont l'excitabilité était beaucoup moins diminuée, a été incapable de soulever le poids. La différence tient à la source de travail inégale qu'ont fourni les deux sujets d'expérience : Pinsonnat, étant moins atteint par l'anémie, a pu produire un travail considérable; or nous savons combien désastreux pour le muscle sont les effets du travail anaérobie (*). Leroy a été soustrait à un travail plus grand par la perte d'excitabilité due aux progrès mêmes de l'anémie et a gardé de cette façon un résidu de force. C'est à la présence de toxines musculaires, produites par le travail chez Pinsonnat, qu'il faut rattacher son inexcitabilité définitive dans l'anémie.



Courbe normale. Courbe de l'anémie.

Fig. 9. — M. Gérard. Anémie complète du bras. Expérience du 27 février 1904. Poids : 4 kilogrammes. Grandeur naturelle.

III. Gérard, 27 février 1904. Poids : 4 kilogrammes; rythme : deux secondes (voir fig. 9). La courbe de l'anémie est prise immédiatement après la ligature. Pas de douleur. Le fourmillement ne commence que vers la fin

(*) Voir mon article *Fatigue* du Dictionnaire de physiologie, chapitre : *La fatigue aérobie et anaérobie*, p. 129.

de la courbe. Après la courbe de l'anémie, et après repos de deux minutes, le soulèvement de 4 kilogrammes est devenu impossible. On parvient à faire cinq petits soulèvements avec 2 kilogrammes. L'anémie a donc été complète.

GÉRARD (27 février 1904).	Hauteur.	Nombre.	Quotient.	$\mathfrak{T}$
Courbe normale	640	49	13,0	2,560
Courbe de l'anémie . . .	230	21	10,9	0,920

Nous retrouvons donc ici les mêmes phénomènes que dans les autres expériences avec l'anémie : diminution notable de travail mécanique avec abaissement du quotient de fatigue ou de la hauteur moyenne.

IV. GÉRARD, 11 mars 1904. Poids : 4 kilogrammes; rythme : deux secondes. Le tracé de l'anémie est pris une minute après la ligature. Pas de réparation de la fatigue. Après enlèvement de la ligature, le dynamomètre donne 37 kilogrammes à droite, 36 à gauche.

GÉRARD (11 mars 1904).	Hauteur.	Nombre.	Quotient.	$\mathfrak{T}$
Courbe normale	674	58	11,6	2,696
Courbe de l'anémie . . .	347	31	11,2	1,388

Les ergogrammes de trois expériences ont été soumis au calcul mathématique.

SUJETS.	H	*a*	*b*	*c*	ε
Ergogrammes normaux.					
LEROY (27 février) . . .	33	0,001201	0,06366	1,34097	0,9
GÉRARD (27 février). .	24	0,00054	0,03714	1,0066	0,3
GÉRARD (11 mars) . . .	22	0,00033	0,02767	0,874	0,11
Ergogrammes de l'anémie.					
LEROY (27 février) . . .	20	0,0424	0,950	7,135	0,5
GÉRARD (27 février). . .	14	0,00745	0,19023	1,373	0,4
GÉRARD (11 mars) . . .	17	0,002057	0,07715	0,963	0,6

Le résultat est celui que le raisonnement avait prévu. Sous l'influence de l'anémie, *a* (toxines) est considérablement augmenté dans toutes les expériences; *b* est augmenté, et *c* aussi est considérablement augmenté dans toutes les expériences, mais surtout chez Leroy, dont la paralysie était la plus complète. Dans cette expérience, l'augmentation de *a* est aussi la plus prononcée.

Donc *a*, *b*, *c* augmentent; en revanche, H diminue toujours dans le cas de l'anémie.

Quelle signification faut-il accorder à l'augmentation des trois paramètres *a*, *b*, *c*, coïncidant avec un abaissement de H (hauteur maximale)?

H grandit dans le même sens que la quantité disponible d'hydrates de carbone, c'est-à-dire en sens inverse de *c*, qui croît avec les hydrates de carbone consommés.

Quand H augmente et que *c* diminue, cela signifie que la quantité disponible de sucre était augmentée et que la perte de puissance due à la consommation de sucre est diminuée, c'est-à-dire qu'à chaque instant le glucose disponible augmente. Tel est l'effet du sucre.

Quand H et *c* augmentent, cela signifie que bien que la consommation d'hydrates augmente, la quantité disponible d'hydrates était plus grande.

Or, dans l'anémie, H diminue et *c* augmente, ce qui veut dire que la quantité disponible d'hydrates était diminuée et que la consommation d'hydrates augmente, ce qui devait être.

Quant aux modifications des autres paramètres, elles sont d'une interprétation facile. L'augmentation de *a* dénote les progrès plus rapides de l'intoxication. L'augmentation de *b* dans l'anémie locale s'explique aussi très aisément. Nous savons, grâce à de nombreuses recherches, que les centres nerveux envoient des excitations plus fortes quand l'inertie dans les muscles vient à augmenter. Il y a là une autorégulation remarquable qui se produit, soit quand on augmente la charge du muscle frais, soit pour la même charge, quand le muscle est fatigué. Dans les deux cas, il s'agit d'une augmentation de résistance dans le muscle, et cette augmentation de résistance agit comme un excitant sur les centres nerveux, qui envoient des décharges croissantes. L'anémie locale rentre dans la même catégorie de faits.

Détails du calcul des ergogrammes avec tableaux comparatifs des quantités observées et des quantités calculées à chaque instant.

(η_o = effort observé; η_c = effort calculé; H = hauteur maximum; T = nombre des contractions).

Première courbe (normale).

H = 33; T = 42. (M. Leroy, 27 février 1904.)

t	t^2	t^3	$at^3 + bt^2 - ct$	η_c	η_o	$\eta_o - \eta_c$	
						−	+
0	0	0	0,0	33,0	33	»	»
1	1	1	1,3	31,7	30	»	1,7
2	4	08	2,4	30,6	30	»	0,6
3	9	27	3,4	29,6	30	0,4	»
4	16	64	4 4	28,6	31	2,4	»
5	25	125	5,2	27,8	29	1,2	»
6	36	216	6,0	27,0	30	3,0	»
7	49	343	6,6	26,4	29	2,6	»
8	64	512	7,3	25,7	29	3,3	»
9	81	729	7,8	25,2	28	2,8	»
10	100	1000	8,3	24,7	29	4,3	»
11	121	1331	8,6	24,4	28	3,6	»
12	144	1728	9,0	24,0	26	2,0	»
13	169	2197	9,3	23,7	27	3,3	»
14	196	2716	9,6	23,4	27	3,6	»
15	225	3375	9,8	23,2	25	1,8	»
16	256	4096	10,1	22,9	23	0,1	»
17	289	4913	10,3	22,7	24	1,3	»
18	324	5832	10,5	22,5	25	2,5	»
19	361	6859	10,7	22,3	25	2,7	»
20	400	8000	10,9	22,1	25	2,9	»
21	441	9261	11,2	21,8	22	0,2	»
22	484	10648	11,5	21,5	22	0,5	»
23	529	12167	11,8	21,2	21	»	0,2
24	576	13824	12,1	20,9	20	»	0,9
25	625	15625	12,5	20,5	19	»	1,5
						44,5	4,9

Observations : $a = 0{,}001201$. $b = 0{,}06366$. $c = 1{,}34097$.

t	t^2	t^3	$at^3 + bt^2 - ct$	η_c	η_o	$\eta_o - \eta_c$	
						—	+
						44,5	4,9
26	676	17576	12,9	20,1	15	»	5,1
27	729	19683	13,5	19,5	16	»	3,5
28	784	21952	14,0	19,0	16	»	3,0
29	841	24389	14,8	18,2	15	»	3,2
30	900	27000	15,5	17,5	10	»	7,5
31	961	29791	16,3	16,7	10	»	6,7
32	1024	32768	17,1	15,9	9	»	6,9
33	1089	35937	18,2	14,8	8	»	6,8
34	1156	39304	19,2	13,8	7	»	6,8
35	1225	42875	20,5	12,5	7	»	5,5
36	1296	46656	21,8	11,2	6	»	5,2
37	1369	50653	23,4	9,6	5	»	4,6
38	1444	54872	24,9	8,1	3	»	3,1
39	1521	59319	26,8	6,2	2	»	4,2
40	1600	64000	28,6	4,4	1	»	3,4
41	1681	68921	30,8	2,2	0,5	»	1,7
42	1764	74088	33,0	0,0	0	»	»
						44,5	81,1

Écart moyen . . . 36.6 : 43 = 0,9

Deuxième courbe (de l'anémie).

H = 20; T = 11. (M. Leroy, anémie complète du bras, 27 fév. 1904.

t	t^2	t^3	$at^3 + bt^2 - ct$	η_c	η_o	$\eta_o - \eta_c$	
						—	+
0	0	0	0,0	20,0	20	»	»
1	1	1	6,2	13,8	16	2,2	»
2	4	8	10,6	9,4	8	»	1,4
3	9	27	14,0	6,0	7	1,0	»
4	16	64	16,1	3,9	6	2,1	»
5	25	125	17,2	2,8	5	2,2	»
6	36	216	17,8	2,2	3	0,8	»
7	49	343	17,9	2,1	2	»	0,1
8	64	512	18,0	2,0	2	»	»
9	81	729	18,2	1,8	1	»	0,8
10	100	1000	18,8	1,2	0,5	»	0,7
11	121	1331	20,0	0,0	0	»	»
						8,3	3,0

Écart moyen. . 5,3 : 12 = 0,5

Observations : $a = 0,0424$. $b = 0,950$. $c = 7,135$.

Première courbe (normale).

H = 24; T = 49. (M. Gérard, 27 février 1904.)

t	t^2	t^3	$at^3 + bt^2 - ct$	η_c	η_o	$\eta_o - \eta_c$	
						—	+
0	0	0	0,0	24,0	21	»	3,0
1	1	1	1,0	23,0	24	1,0	»
2	4	8	1,9	22,1	23	0,9	»
3	9	27	2,7	21,3	21	»	0,3
4	16	64	3,5	20,5	22	1,5	»
5	25	125	4,1	19,9	21	1,1	»
6	36	216	4,8	19,2	19	»	0,2
7	49	343	5,4	18,6	18	»	0,6
8	64	512	6,0	18,0	17	»	1,0
9	81	729	6,4	17,6	20	2,4	»
10	100	1000	6,9	17,1	20	2,9	»
11	121	1331	7,3	16,7	18	1,3	»
12	144	1728	7,7	16,3	14	»	2,3
13	169	2197	8,0	16,0	16	»	»
14	196	2716	8,3	15,7	18	2,3	»
15	225	3375	8,6	15,4	16	0,6	»
16	256	4096	8,8	15,2	15	»	0,2
17	289	4913	9,0	15,0	14	»	1,0
18	324	5832	9,2	14,8	13	»	1,8
19	361	6859	9,4	14,6	16	1,4	»
20	400	8000	9,6	14,4	14	»	0,4
21	441	9261	9,8	14,2	15	0,8	»
22	484	10648	9,9	14,1	15	0,9	»
23	529	12167	10,1	13,9	17	3,1	»
24	576	13824	10,3	13,7	11	»	2,7
25	625	15625	10,5	13,5	12	»	1,5
26	676	17576	10,6	13,4	12	»	1,4
27	729	19683	10,8	13,2	10	»	3,2
						20,2	19,6

Observations : $a = 0,00054$. $b = 0,03714$. $c = 1,0066$.

t	t^2	t^3	$at^3 + bt^2 - ct$	η_c	η_o	$\eta_o - \eta_c$	
						—	+
						20,2	19,6
28	784	21952	11,0	13,0	14	1,0	»
29	841	24389	11,2	12,8	12	»	0,8
30	900	27000	11,4	12,6	13	0,4	»
31	961	29791	11,7	12,3	12	»	0,3
32	1024	32768	12,0	12,0	9	»	3,0
33	1089	35937	12,3	11,7	8	»	3,7
34	1156	39304	12,6	11,4	9	»	2,4
35	1225	42875	13,0	11,0	8	»	3,0
36	1296	46656	13,4	10,6	9	»	1,6
37	1369	50653	13,9	10,1	9	»	1,1
38	1444	54872	14,4	9,6	7	»	2,6
39	1521	59319	15,0	9,0	7	»	2,0
40	1600	64000	15,6	8,4	6	»	2,4
41	1681	68921	16,3	7,7	8	0,3	»
42	1764	74088	17,0	7,0	7	»	»
43	1849	79507	17,8	6,2	7	0,8	»
44	1936	85184	18,6	5,4	7	1,6	»
45	2025	91125	19,6	4,4	5	0,6	»
46	2116	97336	20,5	3,5	6	2,5	»
47	2209	103823	21,7	2,3	5	2,7	»
48	2304	110592	22,8	1,2	1	»	0,2
49	2401	117649	24,0	0,0	0	»	»
						30.1	42,7

Écart moyen. . 12,6 : 50 = 0,3

Deuxième courbe (de l'anémie).

H = 14; T = 21. (M. Gérard, anémie complète du bras, 27 fév. 1904.)

t	t^2	t^3	$at^3 + bt^2 - ct$	η_c	η_o	$\eta_o - \eta_c$	
						−	+
0	0	0	0,0	14,0	13	»	1,0
1	1	1	1,2	12,8	14	1,2	»
2	4	8	2,0	12,0	14	2,0	»
3	9	27	2,4	11,6	12	0,4	»
4	16	64	2,9	11,1	13	1,9	»
5	25	125	2,9	11,1	13	1,9	»
6	36	216	3,0	11,0	13	2,0	»
7	49	343	2,8	11,2	12	0,8	»
8	64	512	2,6	11,4	12	0,6	»
9	81	729	2,4	11,6	13	1,4	»
10	100	1000	2,2	11,8	14	2,2	»
11	121	1331	2,1	11,9	11	»	0,9
12	144	1728	2,0	12,0	14	2,0	»
13	169	2197	2,1	11,9	12	0,1	»
14	196	2716	2,2	11,8	11	»	0,8
15	225	3375	3,0	11,0	9	»	2,0
16	256	4096	3,8	10,2	9	»	1,2
17	289	4913	5,2	8,8	7	»	1,8
18	324	5832	6,6	7,4	7	»	0,4
19	361	6859	8,8	5,2	6	0,8	»
20	400	8000	11,0	3,0	2	»	1,0
21	441	9261	14,0	0,0	0	»	»
						17,3	9,1

Écart moyen. . 8,2 : 22 = 0,4

Observations : $a = 0{,}00745$. $b = 0{,}19023$. $c = 1{,}373$.

IX. — Caféine.

L'action de la caféine m'a paru intéressante à étudier, surtout à cause de la divergence des opinions entre les expérimentateurs. Les uns la considèrent comme une substance d'épargne; les autres lui refusent toute action nutritive. D'après Parisot (*), la caféine n'agit pas comme un aliment, mais en tonifiant le système nerveux et en permettant, par son ingestion, l'utilisation des réserves de l'organisme. Les échanges organiques sont toujours augmentés avec la caféine (augmentation de l'excrétion de l'urée et de CO^2). Grâce à la caféine, l'organisme peut lutter plus longtemps contre la fatigue; Parisot explique cette action par l'augmentation de la pression sanguine. On sait que l'accélération des battements du cœur chez un sujet qui se fatigue est consécutive à une chute de la pression du sang; la caféine, maintenant la pression sanguine à son niveau normal, empêche ainsi l'accélération et permet de résister plus longtemps à la fatigue; ce qui a permis à Parisot de dire que la caféine met un homme non entraîné dans les conditions d'un homme entraîné.

L'action de la caféine sur le système nerveux est universellement reconnue. D'après Leven, Henneguy, Bennett, Nothnagel et Rossbach (**), dans la première période de l'absorption, l'appareil nerveux central est irrité; dans la deuxième période, il y a diminution de

---

(*) E. Parisot, *Étude physiologique de l'action de la caféine sur les fonctions motrices.* (Thèse de Paris, 1890.)

(**) Ch. Livon, *Caféine.* (Article du Dictionnaire de physiologie de Ch. Richet, t. II.)

l'excitabilité du système nerveux. Ces phénomènes se produisent à dose toxique.

Quant au système musculaire, on a observé des spasmes musculaires, de l'incoordination du mouvement, de la rigidité, de la roideur musculaire, mais seulement à de très fortes doses. D'après Sée et Lapicque (*), l'activité musculaire est augmentée non pas par l'action de la caféine sur le muscle, mais par l'intermédiaire du système nerveux central. Ce n'est qu'avec des doses presque mortelles ou à la condition d'être mise directement en contact du muscle qu'elle agit comme poison musculaire (grenouille).

L'action de la caféine sur la courbe ergographique a été expérimentée pour la première fois par Ugolino Mosso (**); elle augmente la résistance au travail. D'après Hoch et Kraepelin (***), la caféine augmente la hauteur des soulèvements et n'influe pas sur leur hauteur; les auteurs attribuent cet effet à une action directe sur le muscle. Les mêmes faits ont été confirmés dans les expériences nouvelles de Kraepelin faites avec la collaboration de Oseretzkowsky (†).

Il en résulte que le mécanisme de l'action de la caféine sur l'accroissement du travail n'est pas élucidé; agit-elle sur le muscle directement ou bien par l'intermédiaire des centres nerveux? Dans le but de contribuer à résoudre

---

(*) Sée et Lapicque, *Action de la caféine sur les fonctions motrices et respiratoires à l'état normal et à l'état d'inanition.* (Bull. de l'Acad. de médecine. Paris, t. XXIII, p. 313.)

(**) Ug. Mosso, *Action des principes actifs de la noix de kola sur la contraction musculaire.* (Archives italiennes de biologie, t. XIX, 1893.)

(***) *Ouvr. cité.*

(†) *Ouvr. cité.*

cette question litigieuse, j'ai institué des expériences avec la caféine, et quelques ergogrammes ont été soumis ensuite à l'analyse mathématique.

La caféine a été donnée pure dans des cachets contenant $0^{gr}10$ de caféine et ingérés avec un peu d'eau; la dose maximum n'a pas dépassé $0^{gr}50$ de caféine, donnée en l'espace d'une heure. Les expériences ont été faites sur quatre personnes : Romain, Leroy, Pinsonnat et moi-même.

Même à la dose de $0^{gr}40$ à $0^{gr}50$, la caféine n'exerce pas, en général, une action bien accentuée sur l'ergogramme; Pinsonnat s'est montré tout à fait réfractaire. Leroy, dans quelques expériences, a accusé une augmentation de travail dans les dernières courbes de la série. Le phénomène est surtout évident dans l'expérience du 22 janvier 1904. Poids : $4^{kg}5$; rythme : deux secondes; intervalle entre les courbes : deux minutes. Les deux premières courbes ne sont pas modifiées.

LEROY (22 janvier 1904).	Hauteur.	Nombre.	Quotient.	E.
Courbes normales.				
3e courbe	454	25	18,1	2,043
4e —	483	24	21,2	2,173
5e —	432	26	16,6	1,946
Courbes obtenues 30 minutes après l'absorption de $0^{gr}30$ de caféine.				
3e courbe	490	31	15,8	2,105
4e —	633	37	17,1	2,848
5e —	646	46	14,0	2,907

Dans cette expérience, la modification est très caractéristique; à l'inverse des observations de Kraepelin, l'augmentation de résistance tient à une augmentation de la courbe en longueur et non en hauteur. La courbe de la fatigue descend moins rapidement et plus régulièrement avec la caféine qu'à l'état normal. Mais la plupart du temps les oscillations sont insignifiantes.

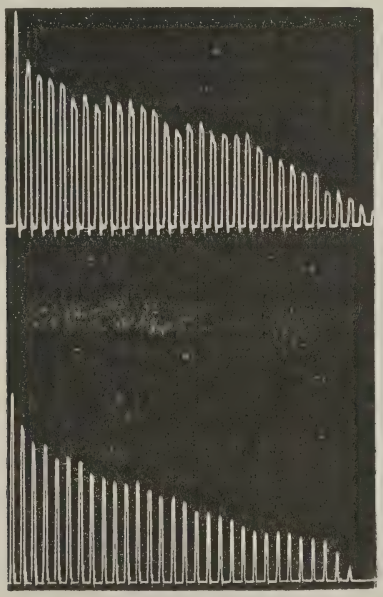


Fig. 10. — Courbe de la caféine (en haut) et courbe normale (en bas) de J. Ioteyko (20 mars 1903). Grandeur naturelle.

Les courbes de Romain et de J. Ioteyko sont plus souvent modifiées par des quantités modérées de caféine, mais les modifications portent tantôt sur la première

courbe, tantôt sur les courbes ultérieures, et peuvent affecter dans certains cas le nombre de contractions, dans d'autres, la hauteur. Voici quelques expériences se rapportant aux tracés modifiés. Poids : $3^{kg}5$; intervalle entre les tracés : une minute.

J. Ioteyko.	Hauteur.	Nombre.	Quotient.	Ꞓ.
20 mars 1903. — Ergogrammes normaux.				
1er ergogramme	337	30	11,23	1,179
2e —	201	21	9,57	0,703
3e —	187	22	8,50	0,654
20 mars 1903. — Ergogrammes obtenus 45 minutes après l'ingestion de $0^{gr}20$ de caféine.				
1er ergogramme	413	32	12,90	1,445
2e	259	26	9,96	0,906
3e —	173	18	9,61	0,605
31 mars 1903. — Ergogrammes obtenus 1 h. 30 m. après l'ingestion de $0^{gr}40$ de caféine.				
1er ergogramme	424	52	8,15	1,696
2e —	212	34	6,23	0,848
3e —	163	25	6,52	0,652

Nous voyons que, dans l'expérience du 20 mars, la caféine à la dose de 0gr20 a augmenté le travail dans les deux premières courbes seulement, avec élévation de la hauteur moyenne. Quant à l'expérience du 31 mars, si l'on compare les résultats avec les courbes normales du 20 mars, on voit que la caféine à la dose de 0gr40 a produit une augmentation de travail des deux premières courbes, avec diminution très considérable de la hauteur moyenne; les courbes étaient allongées comme dans l'alcool; après l'expérience, on constate des troubles psychiques (amnésie).

L'effet chez Romain a été assez net dans l'expérience suivante. Poids : 5 kilogrammes.

Romain.	Hauteur.	Nombre.	Quotient.	T.
27 mars 1903. — Ergogramme normal.				
. . . . .	632	30	21,06	3,160
31 mars 1903. — Ergogramme obtenu 1 h. 30 m. après l'ingestion de 0gr40 de caféine.				
. . . . .	698	30	23,20	3,490

Il y a une légère augmentation de travail avec élévation de la hauteur moyenne.

Donnons maintenant les calculs des paramètres de ces courbes.

J. Ioteyko.	H	*a*	*b*	*c*	ε
20 mars 1903. — Trois courbes normales.					
1re courbe.	26	0,001677	0,08685	1,963	0,02
2e —	20	0,004088	0,1368	2,000	0,2
3e —	17	0,002448	0,08208	1,394	0,02
20 mars 1903. — Trois courbes obtenues 45 m. après l'ingestion de 0gr20 de caféine.					
1re courbe.	29	0,002131	0,1154	2,418	0,7
2e —	22	0,004177	0,1760	2,598	0,05
3e —	20	0,006035	0,1764	2,331	0,02
31 mars 1903. — Trois courbes obtenues 1 h. 30 m. après l'ingestion de 0gr40 de caféine.					
1re courbe.	21	0,000597	0,05107	1,443	0,04
2e —	20	0,001327	0,08682	2,008	0,09
3e —	16	0,001769	0,08269	1,599	0,1

Nous voyons que la caféine produit des effets bien différents suivant la dose et aussi suivant le temps écoulé depuis l'ingestion.

Avec une petite dose (0gr20) et au bout de quarante-cinq minutes, la hauteur s'accroît, *a* augmente considérablement dans la première et la troisième courbe caféinique, *b* augmente aussi dans les trois courbes et *c* également. Bref, les quatre paramètres augmentent avec de petites doses de caféine. Ajoutons que ces modifications s'accompagnent d'une augmentation de travail mécanique et de la hauteur moyenne.

Quelle signification faut-il accorder à l'augmentation de tous les paramètres? Nous avons vu que dans l'anémie H diminue et *c* augmente; cela veut dire que la quantité disponible d'hydrates diminue et que la consommation augmente. Sous l'influence de la caféine, *c* augmente, mais H aussi augmente. Nous devons en conclure que la consommation d'hydrates augmente, mais aussi que leur quantité disponible est plus grande. En conséquence, la caféine produit une décomposition plus considérable d'hydrates de carbone.

L'explication du mécanisme de cette action devient claire quand on consulte le paramètre *b*; il augmente dans les courbes caféiniques. On est ainsi conduit à admettre une action excitante de la caféine sur les centres nerveux, et c'est par l'intermédiaire des centres nerveux que se produit l'action excitante sur le muscle. Il est probable que c'est à la même cause qu'il faut attribuer l'augmentation de *a* dans les courbes caféiniques, la caféine produisant une décomposition plus intense des albuminoïdes.

Il est regrettable qu'il soit encore impossible à l'heure actuelle de définir la nature des toxines, qui se produisent dans le muscle caféinique en plus grande abondance que dans le muscle normal. Mais il paraît certain, par ces expériences et par ces calculs, que la caféine ne peut être considérée comme un aliment; elle n'épargne pas les albuminoïdes, comme le font le sucre et l'alcool, qui diminuent les toxines. J'arrive ainsi à confirmer l'opinion de Parisot, qui considère la caféine non comme un aliment, mais comme un excitant du

système nerveux, permettant l'utilisation des réserves de l'organisme.

Tout autre est l'action de la caféine à plus forte dose (0gr40) et dans sa seconde période. Ici tous les paramètres diminuent d'une façon générale (excepté *c*, qui augmente légèrement dans la troisième courbe). La conclusion, c'est que la caféine paralyse les centres nerveux après une phase d'excitation. L'excitation des centres diminuant, la décomposition de la matière se ralentit, les hydrates de carbone sont consommés plus lentement et plus graduellement, ce qui permet de fournir des petites contractions pendant assez longtemps; les toxines diminuent, les matières albuminoïdes n'étant pas attaquées.

ROMAIN.	H	*a*	*b*	*c*	ε
27 mars 1903. — Courbe normale. Poids : 5 kilogrammes.					
Courbe	30,5	0,002698	0,08473	1,130	0,2
31 mars 1903. — Courbe obtenue 1 h. 30 m. après l'ingestion de 0gr40 de caféine.					
Courbe	34,0	0,00507	0,14544	1,295	0,2

Les modifications subies dans les paramètres au cours de cette expérience sont dans le même sens que celles subies par la courbe de Ioteyko du 20 mars (0gr20 caféine). Tous les paramètres sont augmentés; ce qui montre que pour Romain, 0gr40 est encore la dose excitante. L'interprétation est la même.

Détails du calcul des ergogrammes avec tableaux comparatifs des quantités observées et des quantités calculées à chaque instant.

(η_c = effort calculé ; η_o = effort observé ; H = hauteur du soulèvement maximum ; T = nombre des soulèvements.)

Première courbe (normale).

H = 26; T = 30. (Mlle J. Ioteyko, 20 mars 1903.)

t	t^2	t^3	$at^3 + bt^2 - ct$	η_c	η_o	$\eta_o - \eta_c$	
						—	+
0	0	0	0,0	26,0	26	»	»
1	1	1	1,9	24,1	21	»	3,1
2	4	8	3,6	22,4	19	»	3,4
3	9	27	5,2	20,8	19	»	1,8
4	16	64	6,6	19,4	17	»	3,0
5	25	125	7,9	18,1	17	»	1,1
6	36	216	9,0	17,0	17	»	»
7	49	343	10,1	15,9	15	»	0,9
8	64	512	11,0	15,0	15	»	»
9	81	729	11,9	14,1	14	»	0,1
10	100	1000	12,6	13,4	13	»	0,4
						»	13,8

t	t^2	t^3	$at^3 + bt^2 - ct$	η_c	η_o	$\eta_o - \eta_c$	
						—	+
						»	13,8
11	121	1331	13,3	12,7	14	1,3	»
12	144	1728	13,9	12,1	13	0,9	»
13	169	2197	14,5	11,5	12	0,5	»
14	196	2716	15,0	11,0	12	1,0	»
15	225	3375	15,6	10,4	11	0,6	»
16	256	4096	16,0	10,0	10	»	»
17	289	4913	16,5	9,5	10	0,5	»
18	324	5832	17,0	9,0	9	»	»
19	361	6859	17,4	8,6	9	0,4	»
20	400	8000	17,9	8,1	8	»	0,1
21	441	9261	18,5	7,5	7	»	0,5
22	484	10648	19,0	7,0	7	»	»
23	529	12167	19,6	6,4	7	0,6	»
24	576	13824	20,3	5,7	7	1,3	»
25	625	15625	21,0	5,0	6	1,0	»
26	676	17576	21,8	4,2	6	1,8	»
27	729	19683	22,7	3,3	6	2,7	»
28	784	21952	23,7	2,3	4	1,7	»
29	841	24389	24,8	1,2	2	0,8	»
30	900	27000	26,0	0,0	0	»	»
						15,1	14,4

Écart moyen — 0,7 : 31 = — 0,02

Deuxième courbe (caféine).

H = 29; T = 32. (Mlle J. Ioteyko, caféine, 20 mars 1903.)

t	t^2	t^3	$at^3 + bt^2 - ct$	η_c	η_o	$\eta_o - \eta_c$	
						—	+
0	0	0	0,0	29,0	29	»	»
1	1	1	2,3	26,7	23	»	3,7
2	4	8	4,4	24,6	21	»	3,6
3	9	27	6,3	22,7	20	»	2,7
4	16	64	8,0	21,0	20	»	1,0
5	25	125	9,5	19,5	18	»	1,5
6	36	216	10,8	18,2	18	»	0,2
7	49	343	12,0	17,0	17	»	»
8	64	512	13,1	15,9	18	2,1	»
9	81	729	13,8	15,2	17	1,8	»
10	100	1000	14,8	14,2	18	3,8	»
11	121	1331	15,5	13,5	17	3,5	»
12	144	1728	16,1	12,9	16	3,1	»
13	169	2197	16,6	12,4	14	1,6	»
14	196	2716	17,0	12,0	13	1,0	»
15	225	3375	17,5	11,5	14	2,5	»
16	256	4096	17,9	11,1	15	3,9	»
17	289	4913	18,2	10,8	13	2,2	»
18	324	5832	18,6	10,4	13	2,6	»
19	361	6859	18,9	10,1	13	2,9	»
20	400	8000	19,2	9,8	13	3,2	»
21	441	9261	19,6	9,4	11	1,6	»
22	484	10648	19,9	9,1	10	0,9	»
23	529	12167	20,5	8,5	9	0,5	»
24	576	13824	21,0	8,0	8	»	»
25	625	15625	21,6	7,4	7	»	0,4
26	676	17576	22,3	6,7	7	0,3	»
27	729	19683	23,1	5,9	5	»	0,9
28	784	21952	24,0	5,0	5	»	»
29	841	24389	25,0	4,0	4	»	»
30	900	27000	26,2	2,8	3	0,2	»
31	961	29791	27,5	1,5	2	0,5	»
32	1024	32768	29,0	0,0	0	»	»
						38,2	14,0

Écart moyen — 24,2 : 33 = — 0,7

X. — La main droite et la main gauche.

Il m'a paru intéressant de rechercher s'il existe une caractéristique de la main droite et de la main gauche. Comme il est impossible de calculer les paramètres d'un grand nombre de tracés, vu l'immense travail que cela représente, il faut d'abord faire une étude qualitative de l'ergographie comparée de la main droite et de la main gauche; les tracés les plus caractéristiques seront ensuite soumis au calcul des paramètres.

Cette étude a été faite, sur mes conseils, par M. Schouteden (*) sur vingt-cinq personnes (étudiants de l'Université). Je renvoie à son travail pour tous les détails et ne considérerai ici que les faits les plus caractéristiques.

Existe-t-il une différence entre la forme de l'ergogramme droit et la forme de l'ergogramme gauche? Pour pouvoir répondre à cette question, M. Schouteden a examiné la valeur moyenne du quotient de fatigue des deux côtés.

Écartons les gauchers de notre appréciation; chez eux, en effet, les phénomènes sont très complexes, car il n'existe pour ainsi dire pas de type pur de gaucher. Depuis leur jeune âge, on corrige leur gaucherie, qui est

---

(*) H. Schouteden, *Ergographie de la main droite et de la main gauche* (Annales de la Société royale des sciences médicales et naturelles de Bruxelles, t. XIII, 1904), et ma note sur le même sujet dans le *Bulletin* des séances de la même société, 1er février 1904.

primitive, et l'éducation reçue n'est pas sans influence sur le développement du côté droit, qui subit un entraînement.

Quand on n'envisage que les droitiers, on constate chez les *trois quarts* des sujets une prédominance du quotient de fatigue, c'est-à-dire de la hauteur moyenne *à droite*. Cette prévalence du quotient à droite montre que les tracés du côtédroit se distinguent tout particulièrement de ceux du côté gauche par une hauteur plus grande des contractions. La prédominance de force du côté droit est donc essentiellement musculaire, si l'on admet la théorie de Kraepelin et la mienne.

Pour bien mettre en relief ces résultats, rappelons que, quand l'entraînement musculaire est poussé à l'excès, il se produit une disproportion entre le développement du système musculaire et du système nerveux, au détriment de ce dernier. Ce fait nous explique pourquoi l'entraînement musculaire ne peut dépasser certaines limites et pourquoi les athlètes sont souvent frappés par les conséquences du surmenage : leur système nerveux ne s'entraîne pas suffisamment, et il doit commander à des masses musculaires de plus en plus puissantes.

Le fait que l'entraînement pour les muscles est plus prononcé que l'entraînement pour le système nerveux se vérifie donc pleinement, dans ses grandes lignes, par l'examen du quotient de fatigue des deux côtés. L'ergogramme droit peut être plus haut d'emblée que celui de gauche, ou bien, la hauteur primitive restant la même dans les deux cas, la décroissance de la courbe se fait

moins brusquement à droite. C'est là le caractère distinctif entre l'ergogramme droit et l'ergogramme gauche (chez les droitiers).

On peut maintenant se demander si l'étude des paramètres viendra confirmer ces données acquises par l'expérience. Pour pouvoir répondre, il n'est pas nécessaire d'examiner un grand nombre de courbes, car le fait de l'augmentation du quotient à droite est le caractère essentiel. J'ai choisi deux courbes extrêmement caractéristiques, données par M. Meulemans, le 12 mars 1903, et étudiées dans le travail de M. Schouteden.

Courbe droite : nombre, 27 ; hauteur moyenne, $48^{mm}4$; travail, $5^{kgm}230$.

Courbe gauche : nombre, 31 ; hauteur moyenne, $22^{mm}9$; travail, $2^{kgm}899$.

MEULEMANS (12 mars 1903).	H	*a*	*b*	*c*	ε
Droite	72	0,0034405	0,06252	1,8468	1,5
Gauche.	50	0,0025123	0,133965	3,35135	0,2

L'ergogramme droit se distingue par une augmentation de H coïncidant avec la diminution de *c*. Cela signifie que la quantité disponible d'hydrates de carbone est plus considérable à droite, et la perte de puissance, occasionnée par la consommation des hydrates, est moins accentuée. La diminution du paramètre *b*, à droite, indique

que les actions nerveuses agissant sur le côté droit sont un peu plus faibles que celles qui agissent sur le côté gauche. Il est intéressant de comparer le nombre des soulèvements dans ces deux tracés : le nombre des soulèvements est un peu moindre à droite, de sorte que la prédominance du travail de ce côté est due exclusivement à une augmentation considérable de hauteur. Le sujet choisi présentait, en effet, un développement musculaire très considérable.

Ainsi le calcul de l'équation des courbes vient confirmer les données essentielles recueillies par l'observation. Si les paramètres ne peuvent servir de mesure exacte aux phénomènes physiologiques, du moins en indiquent-ils le sens. *La prédominance du côté droit chez les droitiers est essentiellement musculaire et tient à une disponibilité plus grande d'hydrates de carbone.*

Cette disponibilité plus grande d'hydrates de carbone dans les muscles du côté droit peut s'expliquer facilement par le volume plus considérable des muscles de ce côté, par leur circulation plus active et aussi par leur entraînement qui réalise des conditions plus économiques de travail. Néanmoins, il y aurait une étude chimique intéressante à faire sur la teneur comparée en hydrates de carbone des muscles du côté droit et de ceux du côté gauche.

Détail du calcul des ergogrammes avec tableaux comparatifs des quantités observées et des quantités calculées à chaque instant.

(η_o = effort observé; η_c = effort calculé; H = hauteur de soulèvement maximal; T = nombre des soulèvements.)

Première courbe (droite).

H = 72; T = 27. (M. Meulemans, 12 février 1904)

t	t^2	t^3	$at^3 + bt^2 - ct$	η_c	η_o	$\eta_o - \eta_c$	
						—	+
0	0	0	0,0	72,0	72	»	»
1	1	1	1.8	70,2	69	»	1,2
2	4	8	3,5	68,5	68	»	0,5
3	9	27	5,1	66,9	62	»	4,9
4	16	64	6,6	65,4	65	»	0,4
5	25	125	8,1	63,9	68	4.1	»
6	36	216	9,6	62.4	67	4,6	»
7	49	343	11,1	60,9	64	3.1	»
8	64	512	12,5	59,5	63	3,5	»
9	81	729	14,1	57,9	63	5 1	»
10	100	1000	15,7	56,3	62	5,7	»
11	121	1331	17,4	54,7	64	9,3	»
12	144	1728	19,1	53,9	60	6,1	»
13	169	2197	21,0	51,0	51	»	»
14	196	2716	22,9	49,1	53	3,9	»
15	225	3375	25,3	46,7	57	10,3	»
16	256	4096	27.6	44,4	36	»	8,4
17	289	4913	30,4	41.6	39	»	2,6
18	324	5832	33,1	38,9	38	»	0.9
19	361	6859	36,3	35,7	34	»	1.7
20	400	8000	39,5	32,5	29	»	3 5
21	441	9261	43,3	28.7	23	»	5,7
22	484	10648	47.0	25,0	25	»	»
23	529	12167	51,5	20,5	23	2,5	»
24	576	13824	55,9	16,1	13	»	3,1
25	625	15625	61,1	10,9	17	6,1	»
26	676	17576	66,2	5,8	14	8.2	»
27	729	19683	72,0	0,0	00	»	»
						72,5	32,9

Écart moyen 39,6 : 28 = 1.5

Deuxième courbe (gauche).

H = 50 ; T = 31. (M. Meulemans, 12 février 1904.)

t	t^2	t^3	$at^3 + bt^2 - ct$	η_c	η_o	$\eta_o - \eta_c$ —	$\eta_o - \eta_c$ +
0	0	0	0,0	50,0	50	»	»
1	1	1	3,2	46,8	42	»	4,8
2	4	8	6,2	43,8	32	»	11,8
3	9	27	8,8	41,2	35	»	6,2
4	16	64	11,4	38,6	36	»	2,6
5	25	125	13,6	36,4	35	»	1,4
6	36	216	15,8	34,2	34	»	0,2
7	49	343	17,6	32,4	32	»	0,4
8	64	512	19,5	30,5	29	»	1,5
9	81	729	21,0	29,0	27	»	2,0
10	100	1000	22,6	27,4	27	»	0,4
11	121	1331	23,9	26,1	26	»	0,1
12	144	1728	25,3	24,7	23	»	1,7
13	169	2197	26,4	23,6	24	0,4	»
14	196	2716	27,5	22,5	20	»	2,5
15	225	3375	28,6	21,4	22	0,6	»
16	256	4096	29,6	20,4	22	1,6	»
17	289	4913	30,6	19,4	23	3,6	»
18	324	5832	31,6	18,4	22	3,6	»
19	361	6859	32,6	17,4	22	4,6	»
20	400	8000	33,5	16,5	22	5,5	»
21	441	9261	34,6	15,4	20	4,6	»
22	484	10648	35,6	14,4	16	1,6	»
23	529	12167	36,8	13,2	16	2,8	»
24	576	13824	38,0	12,0	12	»	»
25	625	15625	39,4	10,6	8	»	2,6
26	676	17576	40,7	9,3	8	»	1,3
27	729	19683	42,4	7,6	9	1,4	»
28	784	21952	44,0	6,0	6	»	»
29	841	24389	45,9	4,1	6	1,9	»
30	900	27000	47,8	2,2	2	»	0,2
31	961	29791	50,0	0,0	0	»	»
						32,2	39,7

Écart moyen 7,5 : 32 = 0,2

XI. — Accumulation de fatigue ou « fatigue rémanente ».

Ces expériences ont été effectuées dans le but de vérifier, par l'étude des paramètres, mes anciennes conclusions relatives au siège périphérique de la fatigue. L'exposé de ces travaux se trouve dans l'article « Fatigue » du *Dictionnaire de physiologie* de Ch. Richet (pp. 166 et suivantes). Je me contenterai ici d'en donner un très court aperçu.

L'accumulation de la fatigue a été très bien définie par A. Mosso dans sa « loi de l'épuisement ». L'épuisement de notre corps ne croît pas en proportion directe du travail effectué (*), et pour des travaux deux ou trois fois plus forts, notre fatigue ne sera pas double ou triple. Un travail effectué par un muscle déjà fatigué agit d'une manière plus nuisible sur ce muscle qu'un travail plus grand accompli dans des conditions normales. L'organisme ne peut être assimilé à une locomotive qui brûle une quantité donnée de charbon pour chaque kilomètre de chemin parcouru; quand le corps est fatigué, une faible quantité de travail produit des effets désastreux. Dans ces expériences, l'accumulation de la fatigue a été mesurée au moyen du temps nécessaire à la réparation.

Dans les pages qui vont suivre, je donnerai l'explication de la « loi de l'épuisement » de Mosso; mais avant d'aller plus loin, je tiens à rendre hommage à l'esprit

---

(*) A. Mosso, *La fatigue intellectuelle et physique,* traduit par Langlois. Paris, 1894.

d'observation du physiologiste italien, qui a su tirer parti de tout ce que l'observation des phénomènes a pu lui suggérer.

L'accumulation de la fatigue peut s'étudier encore d'une autre façon. Le temps de repos reste le même entre les courbes successives, mais il est insuffisant pour la réparation complète. Nous aurons donc des effets d'accumulation de fatigue d'une courbe à une autre. Le travail mécanique diminue progressivement. C'est à ces courbes successives que Lehmann (*) donna le nom de « fatigue rémanente », car il persiste toujours un peu de la fatigue précédente.

Quels sont les caractères des courbes successives? J'ai montré que l'accumulation de fatigue est variable suivant les intervalles de repos entre les courbes (**). Ainsi, avec des intervalles de huit minutes environ (rythme : deux secondes), la décroissance du travail est très régulière; dans la deuxième courbe, le sujet ne récupère que les deux tiers de sa force primitive; dans la troisième courbe, il ne récupère que la moitié. Il faut noter que l'intervalle de huit minutes est assez considérable, car chez tous mes sujets dix minutes suffisent déjà pour la réparation complète. Mais en travaillant avec des intervalles beaucoup plus courts (une, deux ou trois minutes), nous avons une répartition de la fatigue bien différente. Dans la deuxième courbe, la chute de travail est très brusque, le travail peut descendre au quart de sa valeur primitive; puis, dans les courbes suivantes, le travail

---

(*) A Lehmann, *Die körperlichen Aeusserungen psychischer Zustände*, vol. I, 1899; vol. II, 1901, Leipzig.

(**) *Fatigue*, p. 171 (Dictionnaire de physiologie).

diminue chaque fois d'une valeur minime; quelquefois même on arrive à un certain équilibre dans les courbes assez avancées dans la série. Il semblerait donc que, dans ce stade de fatigue très prononcé, il y a un résidu de force qui ne peut être épuisé. D'ailleurs, déjà un intervalle de dix secondes de repos produit une réparation assez accentuée. Très souvent le même phénomène se voit sur les courbes isolées; au commencement, la chute de la hauteur des contractions est plus rapide; ensuite, elle se ralentit considérablement et tend à rester stationnaire.

Je reviendrai probablement sur ces particularités dans un autre travail, car elles présentent de l'importance au point de vue du mécanisme même de la fatigue neuro-musculaire; j'ajouterai que, dans mes nouvelles recherches, j'ai trouvé de nombreuses confirmations de cette répartition si inégale de la fatigue, suivant que les intervalles de repos sont plus longs ou plus courts.

A côté de ces modifications relatives à la somme de travail, les tracés successifs présentent des modifications de forme. Ces faits ont fait l'objet de deux travaux que j'ai publiés en 1899 et 1900 et où j'énonçais la loi suivante : *Le quotient de la fatigue* $\frac{H}{N}$, *qui est le rapport entre la hauteur totale des soulèvements et leur nombre dans une courbe ergographique (hauteur moyenne), et qui dans des conditions identiques est mathématiquement constant pour chaque individu (quotient personnel), subit une décroissance progressive dans les courbes ergographiques qui se suivent à des intervalles de temps réguliers et insuffisants pour assurer la restauration complète d'une courbe à une autre.*

La loi de la décroissance du quotient de la fatigue signifie

que la fatigue des mouvements volontaires envahit en premier lieu les organes périphériques, car des deux facteurs constituants du quotient de fatigue, le premier (hauteur) est fonction du travail des muscles, le deuxième (nombre) est fonction du travail des centres nerveux volontaires.

Le « quotient de fatigue » n'est autre que la hauteur moyenne de l'ergogramme, mais le terme « hauteur moyenne » n'est qu'une expression graphique ou arithmétique, alors que celui de « quotient de fatigue » sert à exprimer un rapport physiologique. Comme le quotient respiratoire, qui est le rapport entre CO^2 exhalé et O absorbé, mais qui ne fournit aucune donnée sur les valeurs des quantités absolues de ces gaz, de même le quotient de fatigue mesure un rapport entre des actions musculaires et des efforts nerveux dans un ergogramme.

En examinant non seulement les valeurs du quotient de fatigue pris dans des conditions diverses, mais aussi les valeurs de ses facteurs constituants, c'est-à-dire de la hauteur totale et du nombre des soulèvements dans les ergogrammes, on s'aperçoit que, dans les ergogrammes successifs, le nombre des soulèvements diminue bien un peu, mais la diminution de la hauteur totale est toujours beaucoup plus accentuée; il en résulte un abaissement du quotient de fatigue ou de la hauteur moyenne. Il y a des différences individuelles et aussi des différences tenant à la durée de l'intervalle; en outre, les courbes plus avancées dans la série se distinguent des premières courbes. Mais quel que soit le procédé expérimental, le fait de la diminution de la hauteur moyenne dans les courbes successives est absolument général. Depuis six ans que j'étudie ces faits, j'ai pu les vérifier déjà sur près de

cinquante personnes, et dans des conditions très variées. C'est donc là un phénomène qui est l'expression de l'état normal, vu que tous les sujets d'expérience étaient des jeunes gens, étudiants à l'Université de Bruxelles.

Il faut maintenant démontrer que l'interprétation tirée de la diminution de la hauteur moyenne des courbes est bien celle que je lui attribue, c'est-à-dire que la hauteur de la courbe est plus spécialement liée à l'état des muscles, tandis que le nombre des soulèvements dépend surtout de l'état des centres nerveux. Cette idée est sortie des travaux de Kraepelin (*), qui, avec la collaboration de Hoch, a étudié l'action de diverses substances médicamenteuses sur la courbe et a interprété quelques faits recueillis par A. Mosso relativement à la fatigue intellectuelle. La caféine augmente, d'après Kraepelin, la hauteur des soulèvements à l'ergographe; l'essence de thé diminue le nombre des soulèvements. La première de ces substances est un excitant musculaire, la seconde un déprimant du système nerveux. La fatigue intellectuelle diminue surtout le nombre des soulèvements. L'alcool augmente le nombre des soulèvements. Depuis cette époque, on a recueilli de nombreux faits, tous en faveur de la théorie du psychiatre allemand.

En interprétant le fait de la diminution de la hauteur moyenne dans les ergogrammes successifs, j'ai été tout naturellement influencée par la théorie que venaient d'émettre Hoch et Kraepelin. Mais déjà j'avais fait remarquer, en répondant aux objections de Aars et Larguier (**),

---

(*) Hoch et Kraepelin, *loc. cit.*

(**) J. Ioteyko, *A propos de fatigue cérébrale* (Année psychologique, 1901).

que la signification accordée au fait de la décroissance du quotient de fatigue a pour elle d'autres preuves expérimentales, indépendantes des considérations déjà si suggestives de Hoch et Kraepelin.

Il m'a été possible de fournir ces preuves expérimentales dans mon premier travail d'ergographie de 1899, en même temps que je formulais la loi de la décroissance du quotient. Ces preuves sont les suivantes. J'ai établi la distinction entre deux types sensitivo-moteurs, le type *dynamogène ou sthénique* et le type *inhibitoire ou asthénique*, suivant le genre de réaction cérébrale accusée par les sujets après qu'ils avaient fourni une ou plusieurs courbes à l'ergographe. L'examen de la force dynamométrique de la main gauche, qui n'a pas participé au travail ergographique, peut en effet nous servir d'indicateur de l'état des centres nerveux, l'état des muscles fléchisseurs restant absolument le même, avant et après l'expérience ergographique. Or, chez la majorité des sujets, la valeur de la pression dynamométrique *augmente* après l'ergogramme donné avec la main droite (type dynamogène); chez un petit nombre de personnes, l'effort dynamométrique *diminue* dans le rapport d'un cinquième dans mes expériences (type inhibitoire), mais cet état de dépression disparaît très rapidement. Donc, l'excitabilité des centres nerveux est plus souvent augmentée que diminuée immédiatement après l'expérience ergographique, mais cet état de légère fatigue qu'on constate parfois se dissipe très vite. Et même Woodworth pense que, dans mes expériences, la dépression constatée n'est pas nécessairement une vraie fatigue des centres nerveux, mais qu'elle

est due à la sensation de fatigue qui vient inhiber le mouvement (*).

Ces faits deviennent encore plus significatifs quand on compare les test dynamométriques aux test ergographiques et aussi aux test esthésiométriques recueillis dans les mêmes expériences. Y a-t-il une relation entre la force dynamométrique, le nombre des soulèvements et la sensibilité cutanée ?

Chez les sujets appartenant au type inhibitoire, nous voyons d'une part la force au dynamomètre de la main gauche diminuer dans la proportion d'un cinquième après plusieurs ergogrammes successifs (preuve de l'entrée en jeu d'un certain degré de fatigue centrale) et, en même temps, nous voyons diminuer légèrement le nombre des soulèvements dans les courbes successives, bien que la hauteur moyenne diminue invariablement (la hauteur diminue toujours plus que le nombre). A une dépression centrale correspond donc une diminution du nombre des soulèvements. Parallèlement, la sensibilité cutanée mesurée à l'esthésiomètre diminue.

Chez les sujets appartenant au type dynamogène, on observe : une augmentation de la force dynamométrique, une augmentation du nombre des soulèvements (l'accumulation de fatigue tient donc exclusivement à un abaissement de hauteur) et une augmentation de la sensibilité cutanée. Ainsi à une dynamogénie centrale correspond une augmentation des soulèvements.

Il y a donc un rapport très net entre le nombre des soulèvements et l'excitation des centres nerveux. Bien que le type inhibitoire accuse une légère fatigue des

---

(*) Woodworth, *loc. cit.*, p. 398.

centres, elle reste toujours au-dessous de la fatigue musculaire, et elle se répare avec grande facilité.

Ces faits m'ont conduite à élaborer une « théorie périphérique de la fatigue », d'après laquelle le muscle (ou plutôt les terminaisons nerveuses intramusculaires) se fatigue plus vite que les centres nerveux ; ce qui n'exclut pas pour ces derniers la possibilité de se fatiguer pour des efforts plus longs et plus intenses (fatigue chronique, neurasthénie). La vraie fatigue des centres nerveux se reconnaîtrait par une diminution de la force du stimulant envoyé aux muscles pour en produire la contraction. Or, à l'ergographe, c'est l'inverse qui se produit. Mosso a montré expérimentalement, avec le ponomètre, que l'excitation que l'on envoie à un muscle pendant le travail ergographique est beaucoup plus grande quand le muscle est déjà fatigué. L'effort croît avec la fatigue, a dit A. Mosso. Ainsi donc, la fatigue ergographique a pour effet de produire une augmentation croissante d'inertie dans les muscles (preuve du siège périphérique de la fatigue), et c'est pour vaincre cette inertie que les centres nerveux doivent envoyer à la périphérie un ordre à intensité croissante. La courbe ponométrique suit donc une marche qui est l'inverse de la courbe ergographique. Mais si l'on soulève le poids au ponomètre en excitant le nerf médian par un courant électrique dont l'intensité reste constante, alors la courbe ponométrique va en diminuant. La différence entre la courbe ponométrique, dit Mosso, ascendante quand il s'agit de la volonté, et cette même courbe, descendante quand le nerf est excité, est due à l'augmentation des excitations nerveuses que les centres envoient au muscle à mesure que les conditions matérielles de la contraction deviennent

plus difficiles par suite des progrès de la fatigue. D'ailleurs, Donders et Mansvelt avaient trouvé que le muscle fatigué a besoin d'une excitation nerveuse plus intense pour se contracter.

Ces faits, si explicites, peuvent se passer de tout commentaire. La conformité absolue de ces observations avec la signification accordée aux paramètres de la courbe de fatigue est de toute évidence.

Vu la très grande importance du sujet, les courbes successives de *9 personnes* ont été examinées au point de vue mathématique, ce qui fait trente-sept courbes.

Commençons par une étude physiologique de ces courbes.

I. Schouteden, trois courbes, le 20 février 1903. Poids : 5 kilogrammes; rythme des contractions : deux secondes; intervalle entre les courbes : deux minutes. Notons que le sujet s'était déjà exercé pendant deux mois à l'ergographe. Chaque courbe sera indiquée par l'initiale du sujet, accompagnée du numéro d'ordre de la courbe.

Courbes.	Nombre des soulèvements.	Hauteur totale.	Quotient.	T.
		mm.		kgm.
S_1	55	1403	25,5	7,015
S_2	43	1011	23,5	5,055
S_3	36	671	19,0	3,355

II. Decraene, cinq courbes, le 15 février 1900. Poids : 3 kilogrammes; rythme : deux secondes; intervalle entre les courbes : trois minutes.

Courbes.	Nombre des soulèvements.	Hauteur totale.	Quotient.	$\mathfrak{T}$.
		mm.		kgm.
D_1.	58	2345	37,0	7,035
D_2.	33	1028	32,0	3,084
D_3.	29	856	30,6	2,568
D_4.	29	793	28,3	2,379
D_5.	24	649	27,6	1,947

III. Knops, cinq courbes, le 1er mai 1900. Poids : 4 kilogrammes; rythme : deux secondes; intervalle entre les courbes : 5 minutes. Le sujet se distingue par une grande constance dans la somme de travail d'un jour à l'autre.

Courbes.	Nombre des soulèvements.	Hauteur totale.	Quotient.	$\mathfrak{T}$.
		mm.		kgm.
K_1.	36	1374	39,2	5,496
K_2.	37	1175	32,6	4,700
K_3.	34	974	29,5	3,896
K_4.	31	851	28,3	3,404
K_5.	26	768	31,2	3,072

IV. Williame (G.), cinq courbes, le 12 mars 1900. Le sujet, étant gaucher, travaille avec la main gauche. Poids : 3 kilogrammes; rythme : deux secondes; intervalle entre les courbes : trois minutes.

Courbes.	Nombre des soulèvements.	Hauteur totale.	Quotient	T.
		mm.		kgm.
W_1	48	1090	22,5	3,270
W_2	36	746	20,7	2,238
W_3	35	656	18,7	1,968
W_4	36	600	16,6	1,800
W_5	25	428	17,1	1,284

V. Coclet, 4 courbes, le 1er mai 1900. Poids : 4 kilogrammes; rythme : deux secondes; intervalle entre les courbes : trois minutes et demie.

Courbes.	Nombre des soulèvements.	Hauteur totale.	Quotient.	T.
		mm.		kgm.
C_1	44	926	21,0	3.704
C_2	31	424	13,7	1,696
C_3	25	472	19,0	1,888
C_4	24	389	16,0	1,556

VI. Mlle Dalebroux (P.), 5 courbes, le 19 mars 1900. Poids : 3 kilogrammes; rythme : deux secondes; intervalle entre les courbes : trois minutes.

Courbes.	Nombre des soulèvements.	Hauteur totale.	Quotient.	T.
		mm.		kgm.
Dal_1	32	542,5	16,9	1,627
Dal_2	31	408	13,2	1,224
Dal_3	20	332	16,5	0,996
Dal_4	21	298	14,2	0,894
Dal_5	18	215,5	12,0	0,646

VII. Thiébaut, 26 avril 1900, 4 courbes avec la main gauche (le sujet est gaucher). Poids : 3 kilogrammes; rythme : deux secondes; intervalle entre les courbes : une minute.

Courbes.	Nombre des soulèvements.	Hauteur totale.	Quotient.	$\mathfrak{T}$.
		mm.		kgm.
Th_1	50	1405	28,1	4,215
Th_2	30	595	19,8	1,785
Th_3	26	373	14,4	1,119
Th_4	16	194	12,1	0,582

VIII. Romain, 3 courbes, le 27 mars 1903. Poids : 5 kilogrammes; rythme : deux secondes; intervalle entre les courbes : une minute.

Courbes	Nombre des soulèvements.	Hauteur totale.	Quotient.	$\mathfrak{T}$.
		mm.		kgm.
R_1.	30	632	21,06	3,160
R_2.	13	183	14,00	0,915
R_3.	14	170	12,1	0,850

IX. J. Ioteyko, 3 courbes, le 20 mars 1903. Poids : $3^{kg}5$; rythme : deux secondes; intervalle entre les courbes : une minute.

Courbes.	Nombre des soulèvements.	Hauteur totale.	Quotient.	T.
		mm.		kgm.
I_1	30	337	11,23	1,179
I_2	21	201	9,57	0,703
I_3	22	187	8,50	0,654

J'attire l'attention sur le fait constant de la décroissance du quotient de fatigue dans la fatigue rémanente. (Voir planche I à la fin du mémoire.)

Détermination des paramètres des courbes dans la fatigue rémanente chez neuf personnes. Les courbes sont indiquées par leur numéro d'ordre.

H, a, b, c = constantes; ε = écart moyen entre la courbe calculée et la courbe observée.

SUJETS.	H	a	b	c	ε
I					
Schouteden $_1$	64	0,001309	0,1247	4,06	1,33
S_2	59	0,002433	0,1826	4,72	1,05
S_3	43	0,002285	0,1511	3,36	-0,386
II					
Decraene $_1$	77	0,000933	0,0823	2,96	1,48
D_2	58	0,00362	0,1736	3,77	0,7
D_3	52	0,00487	0,1833	3,47	0,2
D_4	46	0,00247	0,0822	2,13	0,4
D_5	43	0,01266	0,3743	4,06	0,1
III					
Knops $_1$	65	0,005336	0,2734	4,73	1,53
K_2	57	0,00228	0,112	3,0	0,9
K_3	56	0,00156	0,0778	2,06	1,3
K_4	45	0,0015	0,045	1,50	0,3
K_5	44	0,007003	0,2253	3,02	0,44

SUJETS.	H	*a*	*b*	*c*	ε
IV					
WILLIAME 1	35	0,0009304	0,0542725	1,1928	0,03
W_2	32	0,001795	0,07598	1,299	0,2
W_3	29	0,00203	0,08740	1,400	0,1
W_4	23	0,001265	0,0451	0,635	0,1
W_5	24	0,00398	0,0978	0,918	0,7
V					
COCLET 1	57	0,0003895	0,05099	2,770	0,05
C_2	34	0,002023	0,1243	3,006	0,9
C_3	34	0,003132	0,1160	2,302	1,0
C_4	25	0,002749	0,0674	1,081	0,2
VI					
Mlle P. DALEBROUX 1 .	36	0,0009441	0,055987	1,950	0,3
DAL_2	31	0,000825	0,030705	1,159	0,8
DAL_3	28	0,005567	0,14453	2,004	0,3
DAL_4	28	0,00268	0,09209	2,085	0,1
DAL_5	26,5	0,0052502	0,18386	3,081	0,3
VII					
THIÉBAUT 1	59	0,000834	0,067156	2,453	0,06
TH_2	34,5	0,0021166	0,083325	1,745	0,2
TH_3	24	0,0029488	0,098465	1,490	0,02
TH_4	25,5	0,008089	0,22682	3,153	0,1
VIII					
ROMAIN 1	30,5	0,0026984	0,08473	1,130	0,2
R_2	27	0,026375	0,51433	3,360	0,4
R_3	26	0,02255	0,540675	5,0511	0,6
IX					
J. IOTEYKO 1	30	0,001677	0,08685	1,963	0,02
I_2	21	0,004088	0,1368	2,000	0,2
I_3	22	0,002448	0,08208	1,394	0,02

On voit que H diminue, *a* augmente et *b* augmente avec la fatigue, alors que *c* augmente chez certaines personnes et diminue chez d'autres.

L'augmentation de *b* et de *a* dans la fatigue rémanente présente le plus grand intérêt. Nous pouvons maintenant définir l'accumulation de fatigue en disant qu'elle est d'origine périphérique, musculaire, et due principalement à l'intoxication par les déchets de la contraction. L'appauvrissement en hydrates de carbone joue un rôle beaucoup moindre. Quant aux centres nerveux, non seulement ils ne présentent aucune fatigue, mais leur excitabilité est accrue. Ces phénomènes se répètent avec une constance remarquable chez les neuf sujets examinés.

Pour saisir toute l'importance de ces faits, il ne faut pas perdre de vue que les courbes se suivent à un petit intervalle de temps, une ou plusieurs minutes. Pendant cet intervalle, le muscle a donc pu se réparer en partie. L'examen des paramètres nous indique, par conséquent, l'état du système neuro-musculaire déjà après un court repos. Malgré ce repos, *a* est considérablement augmenté, ce qui montre que la persistance de la fatigue et la nécessité d'une réparation de longue durée sont l'effet de l'accumulation des toxines qui empêchent le travail malgré l'apport de nouveaux matériaux de combustion.

Quant à l'augmentation d'excitabilité des centres nerveux, qui vient confirmer d'une façon absolument décisive mes anciens travaux sur le quotient de fatigue et sur la loi de sa décroissance, je rattache ce phénomène précisément à l'accumulation des toxines, c'est-à-dire à un accroissement d'inertie dans le muscle. Toutes les fois que l'inertie dans le muscle augmente, les centres

nerveux envoient des excitations plus fortes. Le fait que, dans la même courbe, *b* s'accroît proportionnellement au carré du temps indique qu'il en est bien ainsi. A plus forte raison, *b* doit augmenter quand déjà la courbe commence avec un résidu de fatigue. Le même fait se confirme dans l'anémie locale du muscle.

Et maintenant, il sera possible d'expliquer la « loi de l'épuisement » de Mosso par l'augmentation considérable de *a* dans l'accumulation de fatigue. Si le muscle pouvait être assimilé à une locomotive, il brûlerait toujours la même quantité de charbon pour chaque kilomètre de chemin parcouru; il épuiserait sa provision de combustible proportionnellement au temps. La courbe d'un pareil muscle n'aurait qu'un seul paramètre, *c*, qui présente la perte de puissance due à la consommation des hydrates de carbone, qui se fait proportionnellement au temps. Malgré l'action des centres nerveux, qui luttent continuellement contre l'intoxication, en envoyant des excitations de plus en plus intenses, c'est l'intoxication qui triomphe et le muscle est réduit à l'inaction. Ce mécanisme se retrouve dans toute fatigue, mais il est surtout manifeste dans l'accumulation de fatigue.

Or, les toxines produites présentent ceci de particulier, que leurs effets sont très persistants. Le fait a été démontré, notamment par A. Broca et Ch. Richet (*) dans leurs expériences sur la contraction anaérobie. C'est pourquoi il ne faut jamais pousser le travail physique jusqu'à l'extrême fatigue.

(*) A. Broca et Ch. Richet, *De la contraction musculaire anaérobie* (Archives de physiologie de Brown-Séquard, 1896, p. 829).

Détails du calcul des ergogrammes avec tableaux comparatifs des quantités observées et des quantités calculées à chaque instant.

(η_c = effort calculé ; η_o = effort observé ; H = hauteur du soulèvement maximal ; T = nombre des contractions.)

Premier ergogramme.

H = 64. Schouteden.

t	t^2	t^3	$ct - bt^2 + at^3$	η_c	η_o	$\eta_o - \eta_c$ —	$\eta_o - \eta_c$ +	*Observations.*
0	0	0	0,0	64,0	61	3,0	»	$a = 0,00130909$.
1	1	1	4,5	59,5	60	»	0,5	$b = 0,124727$.
2	4	8	8,6	55,4	56	»	0,6	$c = 4,063636$.
3	9	27	11,1	52,9	52	0,9	»	
4	16	64	14,3	49,7	51	»	1,3	
5	25	125	17,3	46,7	52	»	5,3	
6	36	216	20,1	43,9	50	»	6,1	
7	49	343	23,7	40,3	49	»	8,7	
8	64	512	25,2	38,8	45	»	6,2	
9	81	729	27,6	36,4	42	»	5,6	
10	100	1000	29,4	34,6	40	»	5,4	
11	121	1331	31,3	32,7	39	»	6,3	
12	144	1728	33,0	31,0	38	»	7,0	
13	169	2197	34,6	29,4	35	»	5,6	
14	196	2716	36,0	28,0	31	»	3,0	
15	225	3375	37,3	26,7	31	»	3,3	
16	256	4096	38,4	25,6	30	»	4,4	
17	289	4913	39,4	24,6	29	»	4,4	
18	324	5832	40,7	23,3	30	»	6,7	
19	361	6859	41,1	22,9	28	»	5,1	
20	400	8000	41,8	22,2	27	»	4,8	
						3,9	89,3	

t	t^2	t^3	$at^3 + bt^2 + ct$	η	η_0	$\eta_0 - \eta_c$ —	$\eta_0 - \eta_c$ +	*Observations.*
						3,9	89,3	
21	441	9261	42,4	21,6	26	»	4,4	
22	484	10648	42,9	21,1	27	»	5,9	
23	529	12167	43,4	20,6	24	»	3,4	
24	576	13824	43,7	20,3	23	»	2,7	
25	625	15625	44,0	20,0	21	»	1,0	
26	676	17576	44,3	19,7	22	»	2,3	
27	729	19683	44,5	19,5	22	»	2,5	
28	784	21952	44,7	19,3	19	0,3	»	
29	841	24389	44,8	19,2	19	0,2	»	
30	900	27000	45,0	19,0	18	1,0	»	
31	961	29791	45,1	18,9	20	»	1,1	
32	1024	32768	45,2	18,8	18	0,8	»	
33	1089	35937	45,3	18,7	16	2,7	»	
34	1156	39304	45,4	18,6	16	2,6	»	
35	1225	42875	45,5	18,5	17	1,5	»	
36	1296	46656	45,7	18,3	16	2,3	»	
37	1369	50653	45,9	18,1	14	4,1	»	
38	1444	54872	46,1	17,9	14	3,9	»	
39	1521	59319	46,4	17,6	15	2,6	»	
40	1600	64000	46,7	17,3	14	3,3	»	
41	1681	68921	47,1	16,9	15	1,9	»	
42	1764	74088	47,6	16,4	14	2,4	»	
43	1849	79507	48,1	15,9	13	2,9	»	
44	1936	85184	48,8	15,2	13	2,2	»	
45	2025	91125	49,5	14,5	12	2,5	»	
46	2116	97336	50,4	13,6	10	3,6	»	
47	2209	103823	51,3	12,7	11	1,7	»	
48	2304	110592	52,4	11,6	11	0,6	»	
49	2401	117649	53,6	10,4	10	0,4	»	
50	2500	125000	55,0	9,0	9	»	»	
51	2601	132651	56,4	7,6	8	»	0,4	
52	2704	140608	58,1	5,9	8	»	2,1	
53	2809	148877	59,9	4,1	7	»	2,9	
54	2916	157464	61,8	2,2	5	»	2,8	
55	3025	166375	64,0	0,0	0	»	»	
						47,4	121,8	

Écart moyen : 74,4 : 56 = 1,33

Deuxième ergogramme.

H = 59. Schouteden.

t	t^2	t^3	$at^3 + bt^2 + ct$	η_c	η_o	$\eta_o - \eta_c$ —	$\eta_o - \eta_c$ +	*Observations.*
0	0	0	0,0	59,0	59	»	»	$a = 0{,}0024332$.
1	1	1	4,5	54,5	51	3,5	»	$b = 0{,}18256$.
2	4	8	8,7	50,3	48	2,3	»	$c = 4{,}7233$.
3	9	27	12,5	46,5	46	0,5	»	
4	16	64	16,1	42,9	43	»	0,1	
5	25	125	17,3	41,7	42	»	0,3	
6	36	216	22,2	36,8	38	»	1,2	
7	49	343	24,9	34,1	36	»	1,9	
8	64	512	27,3	31,7	34	»	2,3	
9	81	729	29,4	29,6	34	»	4,4	
10	100	1000	30,4	28,6	33	»	4,4	
11	121	1331	33,1	25,9	30	»	4,1	
12	144	1728	34,5	24,5	27	»	2,5	
13	169	2197	35,8	23,2	26	»	2,8	
14	196	3375	36,9	22,1	26	»	3,9	
15	225	4096	37,9	21,1	23	»	1,9	
16	256	4913	38,8	20,2	26	»	5,8	
17	289	4913	39,2	19,8	23	»	3,2	
18	324	5832	40,0	19,0	22	»	3,0	
19	361	6859	40,5	18,5	23	»	4,5	
20	400	8000	40,9	18,1	19	»	0,9	
						6,3	47,2	

t	t^2	t^3	$a^3 + b^2 + c$	η_c	η_o	$\eta_o - \eta_c$ —	$\eta_o - \eta_c$ +	*Observations.*
						6,3	47,2	
21	441	9261	41,2	17,8	19	»	1,2	
22	484	10648	41,4	17,6	18	»	0,4	
23	529	12167	41,6	17,4	19	»	1,6	
24	576	13824	41,7	17,3	17	0,3	»	
25	625	15625	42,0	17,0	17	»	»	
26	676	17756	42,5	16,5	16	0,5	»	
27	729	19683	42,3	16,7	15	1,7	»	
28	784	21952	42,5	16,5	14	2,5	»	
29	841	24389	42,7	16,3	14	2,3	»	
30	900	27000	43,0	16,0	15	1,0	»	
31	961	29791	43,4	15,6	14	1,6	»	
32	1024	32768	43,9	15,1	15	0,1	»	
33	1089	35937	44,5	14,5	15	»	0,5	
34	1156	39304	45,1	13,9	15	»	1,1	
35	1225	42875	46,0	13,0	13	»	»	
36	1296	46656	46,9	12,1	12	0,1	»	
37	1369	50656	48,0	11,0	12	»	0,1	
38	1444	54872	49,3	9,7	10	»	0,3	
39	1521	59319	50,8	8,2	9	»	0,8	
40	1600	64000	52,5	6,5	8	»	1,5	
41	1681	68921	54,4	4,6	8	»	3,4	
42	1764	74088	56,6	2,4	7	»	4,6	
43	1849	79507	59,0	0,0	0	»	»	
						16,4	62,7	
			Écart moyen : 46,3 : 44 = 1,05					

Troisième ergogramme.

H = 43. Schouteden.

t	t^2	t^3	$at^3 + bt^2 - ct$	η_c	η_o	$\eta_o - \eta_c$ —	$\eta_o - \eta_c$ +	*Observations.*
0	0	0	0,0	43,0	43	»	»	$a = 0,0025285$.
1	1	1	3,2	40,8	37	3,8	»	$b = 0,151139$.
2	4	8	5,1	36,9	33	3,9	»	$c = 3,358543$
3	9	27	8,7	34,3	26	8,3	»	
4	16	64	11,2	31,8	26	5,8	»	
5	25	125	13,3	29,7	26	3,7	»	
6	36	216	15,2	27,8	25	2,8	»	
7	49	343	16,9	26,1	23	3,1	»	
8	64	512	18,4	24,6	23	1,6	»	
9	81	729	19,8	23,2	23	0,2	»	
10	100	1000	21,0	22,0	22	»	»	
11	121	1331	22,3	20,7	23	»	2,3	
12	144	1728	22,9	20,1	21	»	0,9	
13	169	2197	23,6	19,4	23	»	3,6	
14	196	2716	24,2	18,8	20	»	1,2	
15	225	3375	24,9	18,1	18	0,1	»	
16	256	4096	25,4	17,6	18	»	0,4	
17	289	4913	25,8	17,2	16	1,2	»	
18	324	5832	26,2	16,8	16	0,8	»	
19	361	6859	26,5	16,5	17	»	0,5	
20	400	8000	26,9	16,1	17	»	0,9	
21	441	9261	27,2	15,8	17	»	1,2	
22	484	10648	27,6	15,4	16	»	0,6	
23	529	12167	28,0	15,0	17	»	2,0	
24	576	13824	28,5	15,5	15	0,5	»	
25	625	15625	29,0	14,0	14	»	»	
26	676	17576	29,5	13,5	14	»	0,5	
27	729	19683	30,2	12,8	13	»	0,2	
28	784	21951	31,0	12,0	11	1,0	»	
29	841	24389	31,9	11,1	11	0,1	»	
30	900	27000	33,0	10,0	10	»	»	
31	961	29791	34,1	8,9	8	0,9	»	
32	1024	32768	35,5	7,5	8	»	0,5	
33	1089	35937	37,1	5,9	9	»	3,1	
34	1156	39304	38,8	4,2	7	»	2,8	
35	1225	42875	40,8	2,2	5	»	2,8	
36	1296	46656	43,0	0,0	0	»	»	
						37,8	23,5	

Écart moyen : 14,3 : 37 = 0,386

Premier ergogramme.

H = 65. Knops.

t	t^2	t^3	$at^3 + bt^2 - ct$	η_c	η_o	$\eta_o - \eta_c$ —	$\eta_o - \eta_c$ +	*Observations.*
0	0	0	0,0	65,0	65	»	»	$a = 0{,}0053356$.
1	1	1	4,4	60,6	60	»	0,6	$b = 0{,}2734$.
2	4	8	8,4	56,6	59	2,4	»	$c = 4{,}7347$.
3	9	27	11,8	53,2	55	1,8	»	
4	16	64	14,9	50,1	51	0,9	»	
5	25	125	17,5	47,5	52	4,5	»	
6	36	216	19.7	45,3	51	5,7	»	
7	49	343	21,5	43,5	50	6,5	»	
8	64	512	23,1	41.9	49	7,1	»	
9	81	729	24.3	40,7	48	7,3	»	
10	100	1000	25,6	39,4	47	7,6	»	
11	121	1331	26,1	38,9	44	5,1	»	
12	144	1728	26,6	38,4	43	4,6	»	
13	169	2197	27,0	38,0	43	5,0	»	
14	196	2716	27,1	37,9	43	5,1	»	
15	225	3375	27,5	37,5	38	0,5	»	
16	256	4096	27,6	37,4	42	4,6	»	
17	289	4913	27,6	37,4	42	4,6	»	
18	324	5832	27,7	37,3	40	2,7	»	
19	361	6859	27,8	37,2	37	0,2	»	
20	400	8000	28,0	37,0	35	2,0	»	
21	441	9261	28,2	36,8	35	1,8	»	
22	484	10648	28,6	36,4	37	»	0,6	
23	529	12167	29,1	35,9	37	»	1,1	
24	576	13824	29,9	35,1	34	1,1	»	
25	625	15625	30,8	34,2	32	2,2	»	
26	676	17756	32,0	33,0	30	3,0	»	
27	729	19683	33,5	31,5	33	»	1,5	
28	784	21953	35,3	29,7	31	»	1,3	
29	841	24389	37,5	27,5	27	0,5	»	
30	900	27000	40,0	25,0	25	»	»	
31	961	29791	42,9	22,1	19	3,1	»	
32	1024	32768	46,3	18,7	15	3,7	»	
33	1089	35937	50,2	14,8	13	1,8	»	
34	1156	39304	54,6	10,4	8	2,4	»	
35	1225	42875	59,5	5,5	4	1,5	»	
36	1296	46656	65,0	0,0	0	»	»	
						23,9	80,5	

Écart moyen : 56,6 : 37 = 1,53

Quatrième ergogramme.

H = 45. Knops.

t	t^2	t^3	$at^3 + bt^2 - ct$	η_c	η_o	$\eta_o - \eta_c$ —	$\eta_o - \eta_c$ +	*Observations.*
0	0	0	0,0	45,0	45	»	»	$a = 0{,}0015$.
1	1	1	1,5	43,5	45	»	1,5	$b = 0{,}045$.
2	4	8	2,8	42,2	44	»	1,8	$c = 1{,}50$.
3	9	27	4,1	40,9	40	0,9	»	
4	16	64	5,4	39,6	40	»	0,4	
5	25	125	6,6	38,4	38	0,4	»	
6	36	216	7,7	37,3	38	»	0,7	
7	49	343	8,8	36,2	37	»	0,8	
8	64	512	9,9	35,1	35	0,1	»	
9	81	729	10,9	34,1	33	1,1	»	
10	100	1000	12,0	33,0	34	»	1,0	
11	121	1331	13,1	31,9	33	»	1,1	
12	144	1728	14,1	30,9	32	»	1,1	
13	169	2197	15,2	29,8	30	»	0,2	
14	196	2716	16,3	28,7	30	»	1,3	
15	225	3375	17,4	27,6	29	»	1,4	
16	256	4096	18,6	26,4	29	»	2,6	
17	289	4913	19,9	25,1	26	»	0,9	
18	324	5832	21,2	23,8	24	»	0,2	
19	361	6859	22,5	22,5	21	1,5	»	
20	400	8000	24,0	21,0	21	»	»	
21	441	9261	25,2	19,8	18	1,8	»	
22	484	10648	27,2	17,8	17	0,8	»	
23	529	12167	28,9	16,1	16	0,1	»	
24	576	13824	30,8	14,2	14	0,2	»	
25	625	15625	32,8	12,2	14	»	1,8	
26	676	17576	34,9	10,1	10	0,1	»	
27	729	19683	37,2	7,8	5	2,8	»	
28	784	21952	39,6	5,4	6	»	0,6	
29	841	24389	42,2	2,8	5	»	2,2	
30	900	27000	45,0	0,0	0	»	»	
						9,8	19,6	$\varepsilon = 0{,}3$.

Mlle P. Dalebroux, 19 mars 1900 (cinq courbes).

Première courbe.

t	t^2	t^3	$at^3 + bt^2 - ct$	η_c	η_o	$\eta_o - \eta_c$ —	$\eta_o - \eta_c$ +	*Observations.*
0	0	0	0,0	36,0	36	»	»	H = 36; T = 32.
1	1	1	1,9	34,1	35	0,9	»	
2	4	8	3,7	32,3	34,5	2,2	»	$a = 0,0009441$.
3	9	27	5,4	30,6	32	1,4	»	$b = 0,055987$.
4	16	64	7,0	29,0	32	3,0	»	$c = 1,950$.
5	25	125	8,5	27,5	31,5	4,0	»	
6	36	216	9,9	26,1	31	4,9	»	
7	49	343	11,2	24,8	27	2,2	»	
8	64	512	12,5	23,5	23	»	0,5	
9	81	729	13,7	22,3	24	1,7	»	
10	100	1000	14,8	21,2	24	2,8	»	
11	121	1331	15,9	20,1	21,5	1,4	»	
12	144	1728	17,0	19,0	22	3,0	»	
13	169	2197	18,0	18,0	20	2,0	»	
14	196	2744	18,9	17,1	21	3,9	»	
15	225	3375	19,8	16,2	13	3,2	3,2	
16	256	4096	20,7	15,3	14	»	1,3	
17	289	4913	21,6	14,4	11,5	»	2,9	
18	324	5832	22,5	13,5	16	2,5	»	
19	361	6859	23,3	12,7	10	»	2,7	
20	400	8000	24,2	11,8	9,5	»	2,3	
21	441	9261	25,0	11,0	10	»	1,0	
22	484	10648	25,9	10,1	7,5	»	2,6	
23	529	12167	26,7	9,3	7	»	2,3	
24	576	13824	27,6	8,4	5	»	3,4	
25	625	15625	28,5	7,5	5	»	2,5	
26	676	17576	29,4	6,6	4,5	»	2,1	
27	729	19683	30,4	5,6	3,5	»	2,1	
28	784	21952	31,4	4,6	4	»	0,6	
29	841	24389	32,5	3,5	3	»	0,5	
30	900	27000	33,6	2,4	2	»	0,4	
31	961	29791	34,8	1,2	2,5	1,3	»	
32	1024	32768	36,0	0,0	0	»	»	
						40,4	30,4	

Écart moyen : 0,3.

Deuxième courbe.

t	t^2	t^3	$at^3 + bt^2 - ct$	η_c	η_o	$\eta_o - \eta_c$ −	$\eta_o - \eta_c$ +	*Observations.*
0	0	0	0,0	31,0	31,0	»	»	
1	1	1	1,1	29,9	30,0	0,1	»	H = 31 ; T = 31.
2	4	8	2,2	28,8	31,0	2,2	»	
3	9	27	3,2	27,8	29,5	1,7	»	$a = 0,000825$.
4	16	64	4,2	26,8	30,0	3,2	»	$b = 0,030705$.
5	25	125	5,3	25,7	29,0	3,3	»	$c = 1,159$.
6	36	216	6,3	24,7	27,0	2,3	»	
7	49	343	7,0	24,0	28,0	4,0	»	
8	64	512	7,7	23,3	27,0	3,7	»	
9	81	729	8,5	22,5	27,0	4,5	»	
10	100	1000	9,4	21,6	25,0	3,4	»	
11	121	1331	10,1	20,9	20,5	»	0,4	
12	144	1728	10,9	20,1	23,0	2,9	»	
13	169	2197	11,7	19,3	19,0	»	0,3	
14	196	2744	12,5	18,5	19,5	1,0	»	
15	225	3375	13,3	17,7	17,0	»	0,7	
16	256	4096	14,1	16,9	16,5	»	0,4	
17	289	4913	14,9	16,1	14,5	»	1,6	
18	324	5832	15,7	15,3	11,5	»	3,8	
19	361	6859	16,6	14,4	9,5	»	4,9	
20	400	8000	17,5	13,5	8,0	»	5,5	
21	441	9261	18,6	12,4	7,0	»	5,4	
22	484	10648	19,7	11,3	6.0	»	5,3	
23	529	12167	20,6	10,4	3,0	»	7,4	
24	576	13824	21,5	9,5	3,0	»	6,5	
25	625	15625	22,7	8,3	2,5	»	5,8	
26	676	17576	23,9	7,1	2,5	»	4,6	
27	729	19683	25,2	5,8	4,0	»	1,8	
28	784	21952	26,5	4,5	3,0	»	1,5	
29	841	24389	27,9	3,1	1,5	»	1,6	
30	900	27000	29,4	1,6	2,0	0,4	»	
31	961	29791	31,0	0,0	0,0	»	»	
						32,7	57,5	

Écart moyen : 0,8.

Troisième courbe.

t	t^2	t^3	$at^3 + bt^2 - ct$	η_c	η_o	$\eta_o - \eta_c$ —	$\eta_o - \eta_c$ +	*Observations.*
0	0	0	0,0	28,0	28	»	»	H = 28; T = 20.
1	1	1	1,9	26,1	28	1,9	»	$a = 0,005567$.
2	4	8	3,5	24,5	26,5	2,0	»	$b = 0,14153$.
3	9	27	4,8	23,2	25,5	2,3	»	$c = 2,004$.
4	16	64	6,1	21,9	25,5	3,6	»	
5	25	125	7,1	20,9	25	4,1	»	
6	36	216	8,1	19,9	24	4,1	»	
7	49	343	9,0	19,0	22	3,0	»	
8	64	512	9,8	18,2	18,5	0,3	»	
9	81	729	10,6	17,4	16,5	»	0,9	
10	100	1000	11,4	16,6	15,5	»	1,1	
11	121	1331	12,3	15,7	15,5	»	0,2	
12	144	1728	13,3	14,7	10,5	»	4,2	
13	169	2197	14,3	13,7	13	»	0,7	
14	196	2744	15,4	12,6	11	»	1,6	
15	225	3375	17,0	11,0	9	»	2,0	
16	256	4096	18,6	9,4	8,5	»	0,9	
17	289	4913	20,6	7,4	6	»	1,4	
18	324	5832	22,7	5,3	3,5	»	1,8	
19	361	6859	25,3	2,7	3	0,3	»	
20	400	8000	28,0	0,0	0	»	»	
						21,6	14,8	
					Écart moyen : 0,3.			

Quatrième courbe.

t	t^2	t^3	$at - bt^2 + ct^3$	η_c	η_o	$\eta_o - \eta_c$ —	$\eta_o - \eta_c$ +	*Observations.*
0	0	0	0,0	28,0	28	»	»	H = 28; T = 21.
1	1	1	2,0	26,0	26,5	0,5	»	$a = 0,00268$.
2	4	8	3,8	24,0	24,5	0,5	»	$b = 0,09209$.
3	9	27	5,4	22,6	25	2,4	»	$c = 2,085$.
4	16	64	7,0	21,0	23,5	2,5	»	
5	25	125	8,4	19,6	22	2,4	»	
6	36	216	9,8	18,2	21,5	3,3	»	
7	49	343	11,0	17,0	19,5	2,5	»	
8	64	512	12,2	15,8	18	2,2	»	
9	81	729	13 3	14,7	15,5	0,8	»	
10	100	1000	14,3	13,7	11,5	»	2,2	
11	121	1331	15,3	12,7	12	»	0,7	
12	144	1728	16,4	11,6	9,5	»	2,1	
13	169	2197	17,4	10,6	7,5	»	3,1	
14	196	2744	18,4	9,6	8	»	1,6	
15	225	3375	19,6	8,4	7,5	»	0,9	
16	256	4096	20,8	7,2	6	»	1,2	
17	289	4913	22,0	6,0	4	»	2,0	
18	324	5832	23,3	4,7	3,5	»	1,2	
19	361	6859	24,8	3,2	2	»	0,2	
20	400	8000	26,3	1,7	2,5	0,8	»	
21	441	9261	28,0	0,0	0	»	»	
						17,9	15,2	
					Écart moyen : 0,1.			

Cinquième courbe.

t	t^2	t^3	$at - bt^2 + ct^3$	η_c	η_o	$\eta_o - \eta_c$		*Observations.*
						−	+	
0	0	0	0,0	26,5	26,5	»	»	H = 26,5; T = 18.
1	1	1	2,9	23,6	26,0	2,4	»	$a = 0,0052502$.
2	4	8	5,5	21,0	24,5	3,5	»	$b = 0,18386$.
3	9	27	7,6	18,9	24,0	5,1	»	$c = 3,081$.
4	16	64	9,7	16,8	20,5	3,7	»	
5	25	125	11,4	15,1	16,5	1,4	»	
6	36	216	13,0	13,5	13,5	»	»	
7	49	343	14,3	12,2	11,5	»	0,7	
8	64	512	15,6	10,9	10,0	»	0,9	
9	81	729	16,7	9,8	8,0	»	1,8	
10	100	1000	17,7	8,8	7,5	»	1,3	
11	121	1331	18,7	7,8	5,5	»	2,3	
12	144	1728	19,6	6,9	5,5	»	1,4	
13	169	2197	20,6	5,9	4,5	»	1,4	
14	196	2744	21,5	5,0	4,5	»	0,5	
15	225	3375	22,6	3,9	2,5	»	1,4	
16	256	4096	23,7	2,8	3,5	0,7	»	
17	289	4913	25,1	1,4	1,0	»	0,4	
18	324	5832	26,5	0,0	0,0	»	»	
						16,8	12,1	
					Écart moyen : 0,3.			

XII. — Plan de recherches nouvelles. Conclusions.

J'ai fait remarquer qu'un vaste champ d'études s'ouvrait devant nous en ergographie. Nous pouvons maintenant recourir à l'examen des paramètres pour définir les différentes modalités de la fatigue.

Le calcul de chaque courbe présentant un grand travail, il est utile d'indiquer les moyens pour réduire ce travail au minimum. Il y a, tout d'abord, le procédé général que j'ai suivi dans cette étude. Il consiste à faire une étude physiologique minutieuse des courbes, à multiplier les expériences, à en tirer des conclusions, et à ne soumettre à l'analyse mathématique que les courbes les plus caractéristiques, accompagnées de leurs courbes-témoins. Les paramètres dépendant strictement de la forme de la courbe, il est inutile d'analyser mathématiquement les courbes dont la forme n'a pas changé. Il est également superflu d'analyser mathématiquement un grand nombre de courbes modifiées, si la modification est toujours la même. Mais, dans le résultat physiologique général, il faut tenir compte de toutes les courbes, de celles qui sont modifiées aussi bien que de celles qui ne le sont pas. Ainsi, en donnant les paramètres d'une courbe modifiée par la caféine, il faut dire si la modification est fréquente et dans quelles circonstances elle se produit.

Néanmoins, comme la discussion de chaque courbe séparément est une longue opération, on pourra recourir dans certains cas à un autre procédé, qui consiste à prendre quatre ou cinq courbes fournies par la même

personne, dans des conditions aussi identiques que possible, et à les réduire en une seule *courbe moyenne,* qui serait meilleure que chaque courbe isolée. C'est de cette courbe moyenne qu'on pourrait déduire les paramètres *a, b, c,* par une méthode encore plus précise que celle qui a été employée pour les calculs des courbes dans ce mémoire. Cette méthode dite *des moindres carrés* est la plus rationnelle; elle est un peu plus longue que celle précédemment employée, mais on ne l'appliquerait qu'une fois sur cinq courbes, ce qui constituerait finalement une économie de temps et une incontestable supériorité des résultats. Il y aurait donc une courbe moyenne de la caféine, de l'alcool, etc., pour chaque personne, dans des conditions bien déterminées, et l'on pourrait comparer cette courbe à l'état normal. Cette seconde méthode, qui consiste à établir des courbes moyennes, est indiquée surtout quand les modifications cherchées ne seront pas assez caractéristiques pour permettre de tirer des conclusions basées sur les paramètres d'une seule courbe.

D'autre part, pour la comparabilité des résultats, il faudrait aussi rapporter les différents paramètres de deux courbes à une même énergie disponible (*), c'est-à-dire diviser chacun des paramètres de la première courbe par une quantité proportionnelle à l'aire du premier ergogramme, et chacun des paramètres de la deuxième courbe par une quantité proportionnelle à l'aire du deuxième

---

(*) Cette énergie disponible peut, comme on le verra dans des travaux ultérieurs, s'obtenir en multipliant par un coefficient le travail, coefficient variable avec le poids et le nombre des contractions.

ergogramme. Ainsi chaque paramètre serait ramené à l'unité d'énergie; on pourrait introduire la notion d'économie de travail et de meilleur rendement dans le travail de la caféine, de l'alcool, etc.

Il y aurait peut-être intérêt à introduire une nouvelle constante T, la durée de l'effort (proportionnelle au nombre de contractions porté sur l'abscisse); chaque temps t correspondant à l'effort η serait $(T - t)$, t étant la durée pendant laquelle le sujet peut encore maintenir l'effort. T est, bien entendu, inutile au point de vue purement mathématique, mais il pourrait être utilisé comme une donnée physiologique.

Enfin, pour étudier une influence quelconque, physiologique ou psychique, à l'ergographe, il faudrait l'étudier dans toutes les conditions expérimentales possibles : 1° suivant l'individu; 2° suivant la dose; 3° suivant le temps écoulé depuis l'ingestion; 4° suivant le poids; 5° suivant le rythme des contractions; 6° suivant la température et autres influences extérieures; 7° suivant les numéros d'ordre d'ergogrammes; 8° suivant l'intervalle de repos entre les ergogrammes successifs. On trouverait encore bien d'autres conditions de travail que je n'énumère pas ici. De cette façon, on parviendrait à mettre en relief des influences presque insoupçonnées, car chaque substance n'agit pas nécessairement sur le travail dans toutes les conditions. Ainsi, déjà dans ce mémoire, il a été mentionné que l'action paralysante de l'alcool, qui se manifeste par l'impossibilité de soulever un poids lourd, ne se manifeste pas quand il s'agit de soulever un poids plus léger. Il y a aussi une influence du rythme : l'action dynamogène de l'alcool se manifeste mieux avec un

rythme lent de contraction, au point que déjà le rythme d'une contraction toutes les six secondes confère au muscle la propriété d'être infatigable pendant la durée de l'action de l'alcool.

Les phénomènes consécutifs sont aussi d'une grande importance, et ici je place en premier lieu la *durée de la réparation*. Il est certain que, malgré l'abaissement des contractions à zéro, la fatigue n'est pas la même dans toutes les conditions énumérées. La différence se reconnaît au temps nécessaire à la réparation; elle affecte des modalités très différentes pour un même degré d'impuissance (le travail réduit à zéro). A titre d'exemple, je citerai ici une observation que j'ai faite, mais que je n'ai pas encore étudiée à fond. Quand on travaille avec un poids léger (2 kilogrammes) et avec un rythme très fréquent (150 contractions à la minute), on se fatigue assez vite, mais cette fatigue se dissipe aussi très vite. Au bout de une ou deux minutes, on peut recommencer de nouveau le travail et on fournit la même somme de kilogrammètres. Il est certain que les phénomènes chimiques de la fatigue ne doivent pas être les mêmes dans un ergogramme avec un poids plus considérable (3 ou 4 kilogrammes) et un rythme plus lent (deux secondes) que dans l'ergogramme rapide. En voyant cette fatigue rapide et cette réparation si prompte, on ne peut s'empêcher de faire une comparaison avec l'essoufflement qu'on éprouve lors des mouvements rapides; cet essoufflement, dû en partie au moins à l'accumulation d'acide carbonique, disparaît aussi très vite au repos. Il se pourrait qu'un seul muscle travaillant très vite s'essoufflât, lui-aussi, c'est-à-dire que la production d'acide carboni-

que vînt l'intoxiquer passagèrement. Quoi qu'il en soit, si la fatigue du muscle travaillant vite est due à l'intoxication (et l'examen des paramètres pourra nous fixer là-dessus), cette dernière ne peut être due qu'à des *poisons volatils*, car elle se dissipe trop rapidement pour pouvoir être due à des toxines fixes. De cette façon, on arriverait à faire une distinction entre les différents éléments constitutifs du paramètre *a*.

D'autres sujets, non moins intéressants, se présentent à notre investigation, et je serais très heureuse de voir ces recherches poursuivies dans les différents laboratoires et cliniques. D'une part, il y a le domaine pathologique, dans lequel l'examen des paramètres des courbes de fatigue pourra servir aussi bien comme méthode de diagnostic que comme méthode de recherches. L'examen des paramètres des courbes des neurasthéniques myélasthéniques décidera définitivement si leur affection a une origine dans le système nerveux ou dans les muscles. Dans les différentes paralysies, médullaires, cérébrales ou périphériques, l'examen des paramètres des courbes (surtout si le côté sain peut être comparé au côté malade) permettra de diagnostiquer le siège de la maladie. L'*ergodiagnostic* pourra être appliqué au même titre que l'électro-diagnostic.

Il y a, d'autre part, le domaine des applications pratiques, et principalement l'étude de la fatigue intellectuelle et physique, aussi bien dans les écoles que dans les fabriques, usines, ateliers. Ces questions sont à l'ordre du jour. Il est possible que la fatigue intellectuelle modérée ne s'accompagne pas de la diminution du paramètre *b*, et que seule la fatigue chronique, neurasthéni-

sante, produise cet effet. Les courbes devront donc être examinées à certains intervalles. Quant aux ouvriers, la fatigue physique poussée à l'excès déterminerait une augmentation de *a* dans les courbes prises le soir après une journée de travail. Le surmenage chronique produirait une diminution de *b*. Toutes ces études se feront certainement, mais pour pouvoir en tirer des conclusions pratiques, surtout au point de vue de la législation du travail, il faudra avoir une connaissance exacte de l'état normal, et aussi faire une enquête détaillée sur toutes les conditions physiologiques dans lesquelles travaillent et vivent les ouvriers.

Dans la présente étude, les paramètres d'un grand nombre de courbes ont été examinés, aussi bien à l'état normal que dans divers états physiologiques ; et parmi ces états, certains constituaient l'*optimum* (sucre, alcool), d'autres l'état *pessimum* (anémie locale). Il y a donc la un repère pour les recherches à venir.

En définitive, tout le champ de la motricité (physiologique, psychologique et moral) rentre dans le domaine de l'ergographie. L'effort est une fonction de deux variables : le poids et le nombre des contractions. Au lieu de courbes, nous trouverons des surfaces qu'il s'agit d'explorer. Les méthodes mathématiques font précisément ressortir ce qu'il y a de constant à travers la variété des phénomènes mis en présence.

De même, on pourra trouver la caractéristique du *sexe*, en recourant à l'examen d'un nombre considérable de courbes et en construisant la courbe moyenne.

Je mentionnerai ici une étude qui, je crois, sera féconde en résultats intéressants, et que je viens

d'aborder. Il a été prouvé, aussi bien par les considérations physiologiques que par l'examen des paramètres, que les centres nerveux envoient au muscle des excitations d'autant plus fortes que l'inertie dans le muscle est grande. Ceci s'applique au travail quand on fait varier le poids, et aussi au travail avec le même poids, mais quand les muscles se fatiguent. La fatigue peut donc être assimilée à une augmentation de poids, et il devient possible de mesurer le degré de fatigue en comparant deux muscles, dont l'un abaisserait sa contraction sous l'influence de la fatigue et dont l'autre abaisserait sa contraction sous l'influence d'une augmentation de poids.

Je donne, à titre de spécimen, deux courbes de hauteurs de contractions en fonction des poids soulevés à ces hauteurs, l'une de Leroy, l'autre de Pinsonnat (grandeur naturelle [fig. 11]). Les ordonnées représentent la hauteur de la contraction pour des poids variant de 500 grammes à 10 kilogrammes. Ces courbes des poids présentent incontestablement des paramètres individuels. C'est ce qu'un examen ultérieur pourra préciser.

Il est curieux de constater que sous l'influence de l'augmentation de poids, les sujets accusent des sensations absolument les mêmes que lors de la fatigue. Il serait superflu d'ajouter que, entre chaque augmentation de poids, il s'est écoulé un intervalle suffisant pour éliminer la fatigue.

Dès aujourd'hui il est absolument prouvé que *l'intensité de l'effort nerveux croît toutes les fois que les conditions mécaniques du travail des muscles deviennent plus difficiles.* Et inversement, *l'intensité de l'effort nerveux décroît quand le travail musculaire à faire devient plus facile.* Il y a là

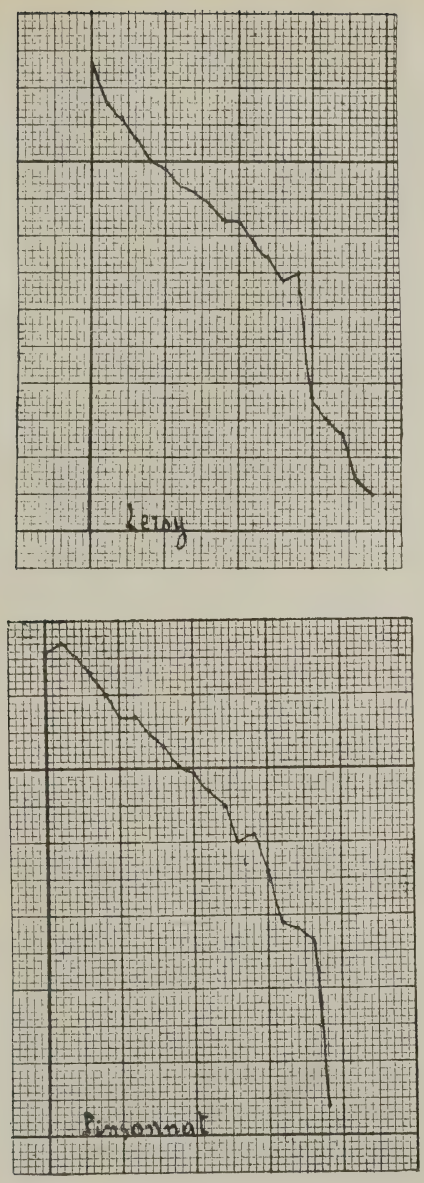


Fig. 11. — La hauteur de la contraction portée en ordonnées en fonction des poids portés en abscisses (de 500 grammes à 10 kilogrammes). On augmente les poids en ajoutant chaque fois 500 grammes. Grandeur naturelle.

une autorégulation remarquable de l'effort nerveux, les difficultés mécaniques du travail agissant comme un excitant sur les centres nerveux. C'est la **loi de l'économie de l'effort,** démontrée par les recherches présentes.

Quelques considérations sur le quotient de fatigue ne seront pas inutiles à la fin de ce travail. On peut se demander jusqu'à quel point se vérifie la supposition que le nombre des contractions est principalement déterminé par l'état d'excitabilité des centres nerveux, alors que la hauteur, soit partielle, soit totale, des soulèvements est due à l'excitabilité musculaire. C'est là une conclusion tirée de l'examen des courbes prises dans différentes conditions, et, comme donnée expérimentale, elle ne peut être méconnue.

En réalité, la physiologie des muscles et des nerfs nous montre que toute augmentation de l'excitant peut se traduire de deux façons : par une augmentation de hauteur de la contraction et par une augmentation de leur nombre. Le fait se présente nettement avec l'excitant électrique, dont on peut graduer l'intensité, et qui dans les expériences sur les muscles isolés vient remplacer le stimulus nerveux.

Alors comment expliquer que, dans les expériences ergographiques, l'excitation centrale se traduirait presque exclusivement par une augmentation du nombre des contractions ? La réponse peut être donnée grâce à l'examen des paramètres. En réalité, l'action des centres, qui tend à élever la courbe proportionnellement au carré du temps, retentit aussi bien sur la hauteur des contractions que

sur la durée totale de l'effort. Mais l'élévation continuelle de l'ergogramme, due à l'action des centres, est constamment contrebalancée par l'abaissement de l'ergogramme, dû à l'action des paramètres négatifs *a* et *c*. Il en résulte que, pratiquement, l'influence des centres nerveux tendant à élever la courbe ne peut se faire jour et qu'on constate seule son action tendant à prolonger la durée totale de l'effort. Ainsi, la hauteur des soulèvements reste avant tout une fonction du muscle et est liée étroitement aux paramètres *a* et *c*. En parlant de la relation du quotient de fatigue (p. 29), j'ai fait remarquer que le quotient de fatigue grandit quand le paramètre *b* (agissant seul) grandit. La descente continuelle du quotient de la fatigue dans la courbe (diminution continuelle de la hauteur moyenne) est due par conséquent à la perte de puissance occasionnée par l'action prédominante et antagoniste des paramètres *a* et *c*.

Ce qui se passe au cours de la fatigue envisagée dans une seule et même courbe se passe également dans la fatigue rémanente; le quotient de fatigue ou hauteur moyenne diminue de courbe en courbe, car *a* devient de plus en plus grand, alors que *b* augmente. Ces deux paramètres augmentent presque toujours en même temps, et l'on dirait qu'il s'engage une lutte entre *b* et *a* chaque fois que l'inertie dans les muscles augmente.

Outre la fatigue rémanente, nous retrouvons encore d'autres états passibles de la même explication.

Sous l'influence du sucre, la hauteur moyenne des contractions augmente, et le sucre est un aliment pour le muscle qui travaille. Dans l'anémie locale, le quotient diminue considérablement. Le quotient est plus élevé à

droite qu'à gauche. Dans toutes ces expériences, il y a concordance absolue entre les conséquences impliquées par les conditions expérimentales, les variations du quotient et les variations des paramètres. Nous pouvons en conclure que dans un grand nombre de circonstances où l'examen mathématique fera défaut, on pourra s'en rapporter aux valeurs du quotient de fatigue pour savoir si l'effet recherché est central ou périphérique.

Mais le quotient de fatigue ne pourra servir d'indice dans les expériences avec les substances excitantes, telles que l'alcool, la caféine, etc.; comme nous l'avons vu pour l'alcool, son action sur les centres nerveux est complexe et nécessite la décomposition du paramètre b en deux paramètres (b_1 et b_2). Dans ces cas, le calcul de l'équation des courbes est indispensable, et d'ailleurs il s'impose maintenant dans toutes les recherches ergographiques.

Travail du Laboratoire d'énergétique
près l'Institut Solvay.

COMITÉ SECRET.

La Classe se forme en comité secret pour entendre l'exposé des titres des candidats aux places vacantes.

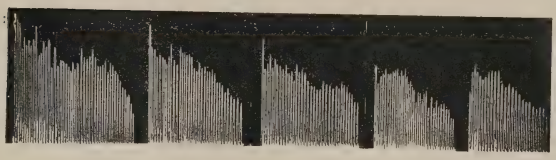
Cette liste est définitivement adoptée.

Mlle Dr J. Ioteyko, *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique* (Classe des sciences), no 5, 1904.

Fatigue rémanante.

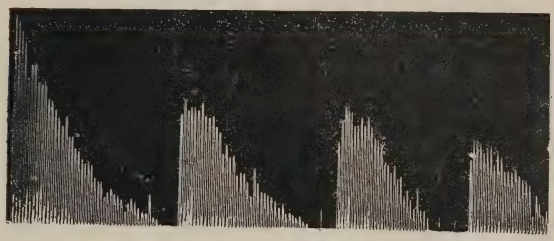
(Demi-grandeur naturelle.)

M. Williame,
12 mars 1900.
Intervalles : 3 minutes.



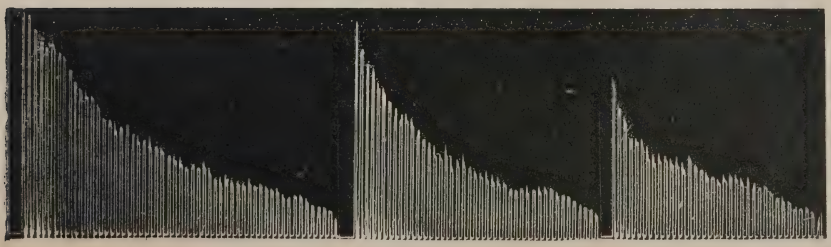
Mlle P. Dalebroux,
19 mars 1900.
Intervalles : 3 minutes.

M. Coclet,
1er mai 1900.
Intervalles : 3 1/2 min.



M. Knops, 1er mai 1900. Intervalles 5 minutes.

M. Schouteden, 20 février 1903. Intervalles : 2 minutes.



Mlle Dr J. Ioteyko, *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique* (Classe des sciences), nº 5, 1904.

Dessins agrandis des courbes observées et des courbes calculées.

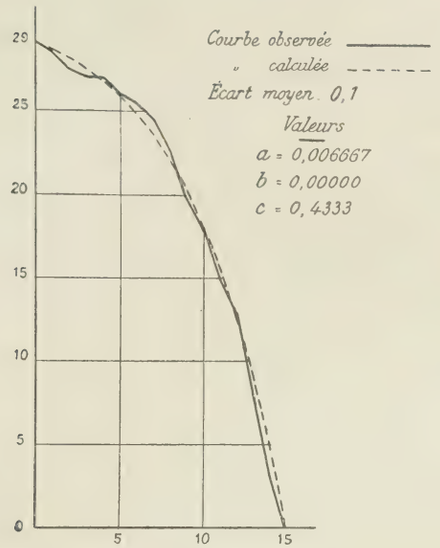


Fig. 1. — Courbe normale, Romain, du 17 mars 1903.

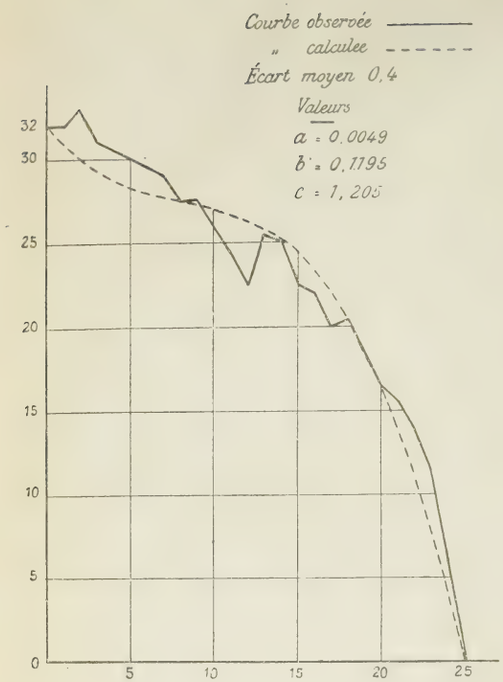


Fig. 2. — Courbe-alcool, Romain, du 17 mars 1903.

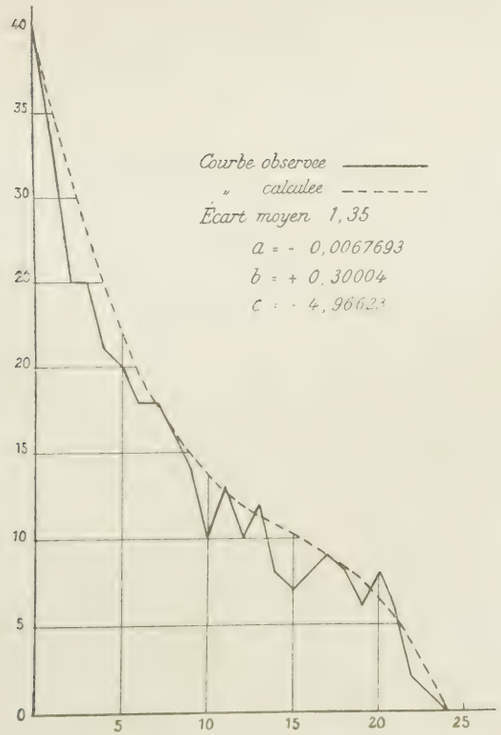


Fig. 3. — Courbe-inanition, Mlle Kipiani, du 1er mars 1904.

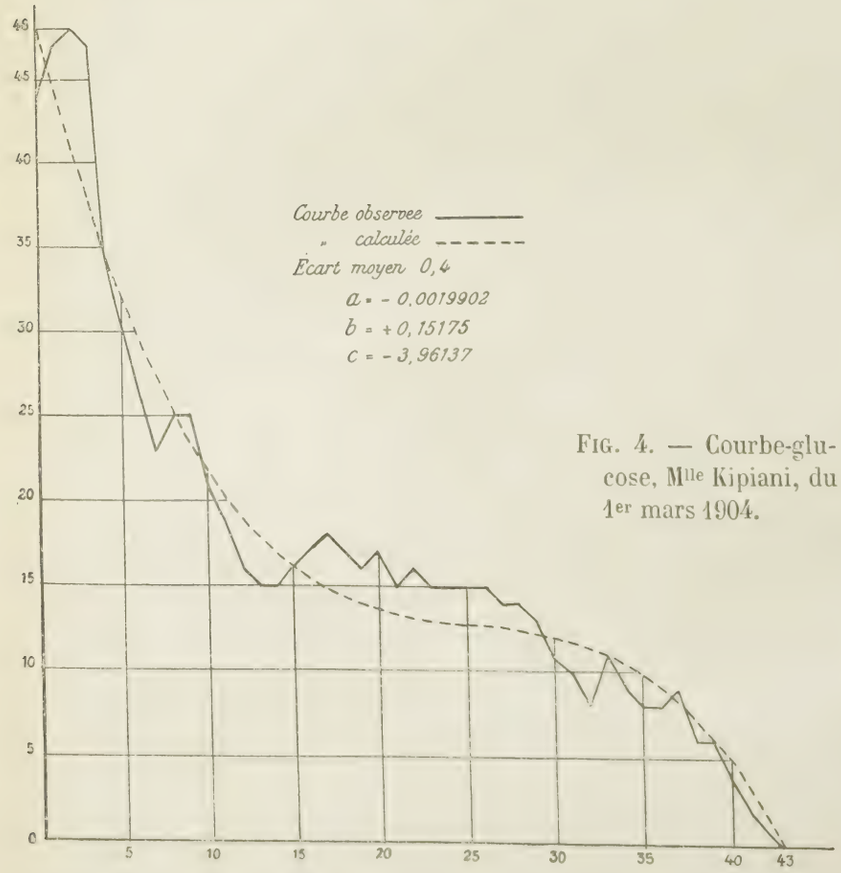


Fig. 4. — Courbe-glucose, Mlle Kipiani, du 1er mars 1904.

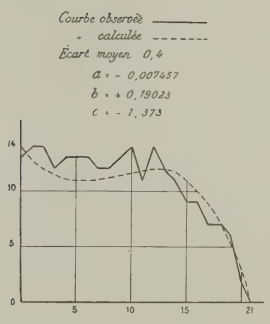


Fig. 6. — Courbe-anémie, Gérard, du 27 février 1904.

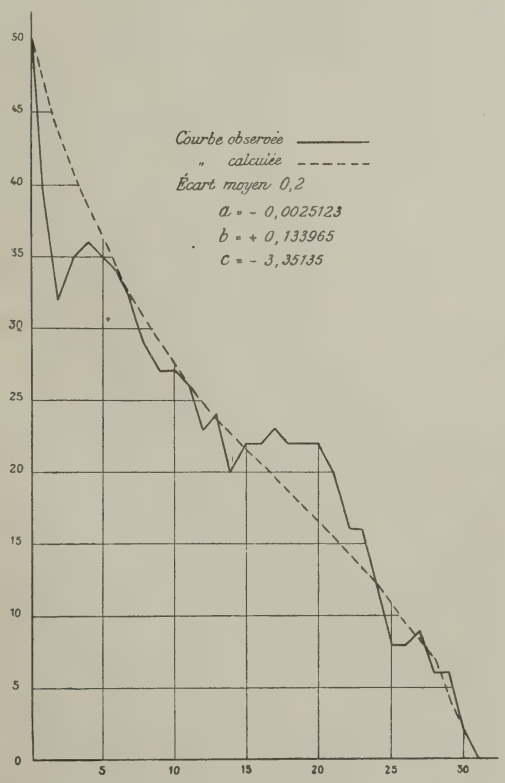


Fig. 8. — Courbe de la main gauche, Meulemans, du 12 mars 1903.

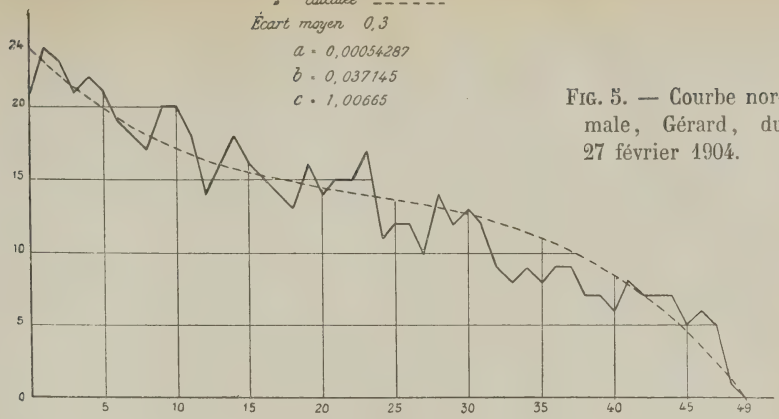


FIG. 5. — Courbe normale, Gérard, du 27 février 1904.

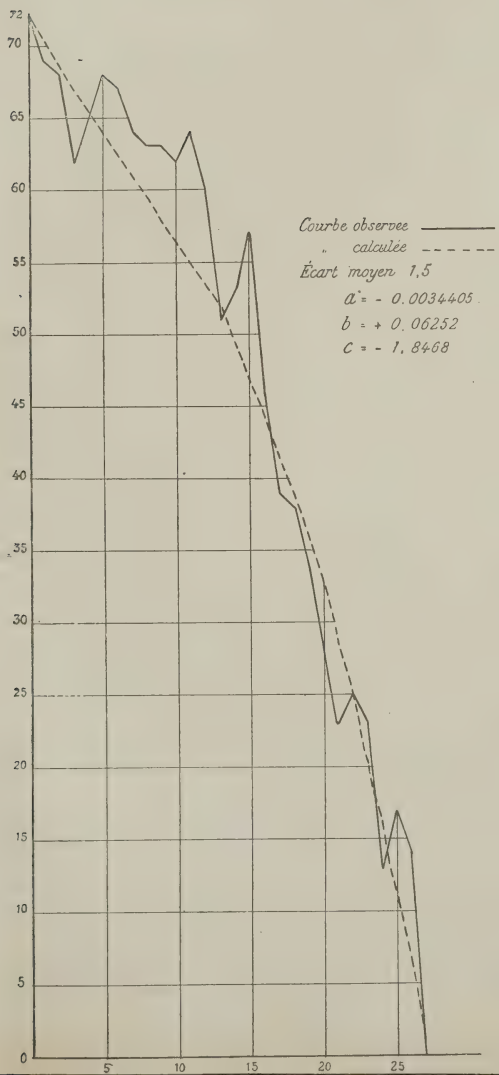


FIG. 7. — Courbe de la main droite, Meulemans, du 12 mars 1903.

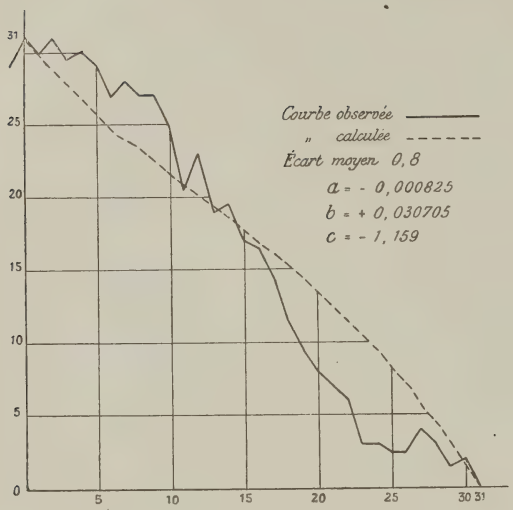


Fig. 10. — Deuxième courbe.

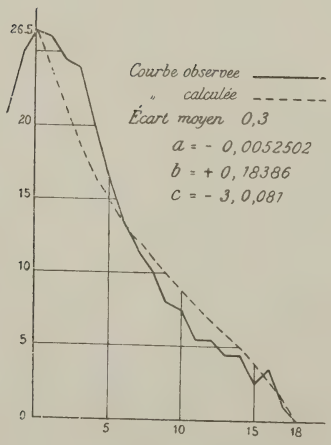


Fig. 13. — Cinquième courbe.

Cinq courbes successives de Mlle P. Dalebroux.

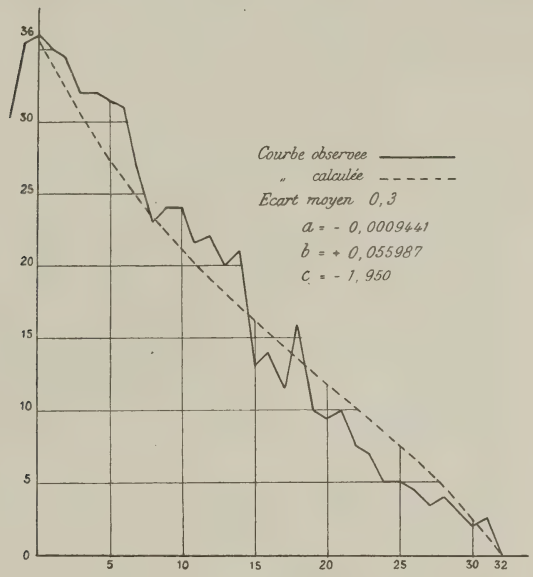


FIG. 9. — Première courbe.

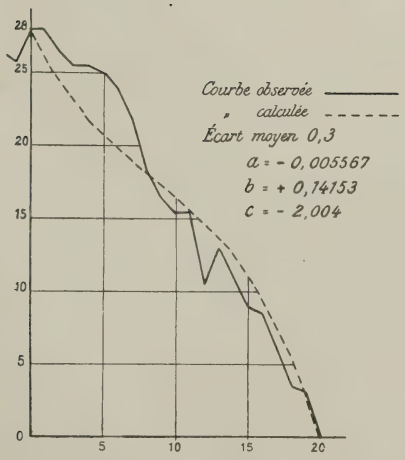


FIG. 11. — Troisième courbe.

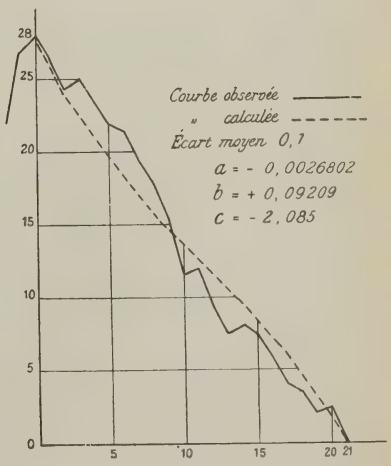


FIG. 12. — Quatrième courbe.

OUVRAGES PRÉSENTÉS.

—

Fredericq (*Léon*) et *Heger* (*Paul*). Archives internationales de physiologie, vol. I, avril 1904.

Van der Mensbrugghe (*G.*). Nouvelles applications de l'énergie potentielle des surfaces liquides. Bruxelles, 1879; in-8° (23 p.).

— Voyages et métamorphoses d'une gouttelette d'eau. Bruxelles, 1880; in-8° (27 p.).

— Sur les moyens d'évaluer et de combattre l'influence de la capillarité dans la densimétrie. Bruxelles, 1888; in-8° (14 p.).

— Sur une particularité curieuse des cours d'eau et sur l'une des causes des crues subites. Bruxelles, 1891; in-8° (12 p.).

— Sur la cause commune de la tension superficielle et de l'évaporation des liquides. Bruxelles, 1893; in-8° (35 p.).

— Sur la pression hydrostatique négative. Bruxelles, 1893; in-8° (10 p.).

— Remarques sur la constitution de la couche superficielle des corps solides. Bruxelles, 1894; in-8° (8 p.).

— Quelques exploits d'une particule d'air. Bruxelles, 1895; in-8° (25 p.).

— Sur les phénomènes constatés dans la couche superficielle d'un liquide. Bruxelles, 1895; in-8° (7 p.)

Ioteyko (*J.*). La fatigue et la respiration élémentaire du muscle. Paris, 1896; in-8° (56 p. et 1 pl.).

— La vie anaérobie du muscle. Bruxelles, 1898; in-8°. (23 p.).

Ioteyko (*J.*). Action de la neurine sur les muscles et les nerfs. Bruxelles, 1898; in-8° (11 p.).

— Revue générale sur la fatigue musculaire. Évreux, s. d.; in-8° (54 p.).

— De l'anélectrotonus complet. Bruxelles, s. d.; in-8° (4 p.).

— Recherches expérimentales sur la résistance des centres nerveux médullaires à la fatigue. Bruxelles, 1899; in-8° (55 p., fig.).

— L'effort nerveux et la fatigue. Recherches ergographiques et dynamométriques. Liége, 1900; extr. in-8° (57 p.).

— La résistance à la fatigue des centres psycho-moteurs de l'homme. Bruxelles, 1900; in-8° (15 p.).

— Distribution de la fatigue dans les organes centraux et périphériques — La fatigue comme moyen de défense de l'organisme, Bruxelles, 1900; in-8° (4 p.).

— Dictionnaire de physiologie, par Charles Richet; article : Fatigue. Paris, 1900; gr. in-8° (184 p.).

— Recherches sur la fatigue névro-musculaire et sur l'excitabilité électrique des muscles et des nerfs. Bruxelles, 1900; in-8° (72 p.).

— Participation des centres nerveux aux phénomènes de fatigue musculaire. Bruxelles, 1901; extr. in-8° (32 p.).

— Effets physiologiques des ondes induites de fermeture et de rupture dans la fatigue et l'anesthésie des muscles. Bruxelles, 1901; in-8° (38 p.).

— Mesure graphique de la fatigue isométrique. Bruxelles, 1901; extr. in-8° (7 p.).

— Influence des anesthésiques sur l'excitabilité des muscles et des nerfs. (En collaboration avec M. Stefanowska.) Bruxelles, 1901; extr. in-8° (64 p.).

— Excitabilité et fatigue. Bruxelles, 1901; extr. in-8° (23 p.).

Ioteyko (*J.*). De l'excitation des muscles et des nerfs par les courants faradiques de fermeture et d'ouverture. Bruxelles, 1902; extr. in-8° (7 p.).

— Dissociation des phénomènes de sensibilité et de motilité dans l'anesthésie par l'éther. (En collaboration avec M. Stefanowska.) Bruxelles, 1902; extr. in-8° (34 p.).

— De l'excitation des muscles et des nerfs par les courants faradiques de fermeture et d'ouverture. Lille, 1902; extr. in-8° (9 p.).

— Anesthésie des nerfs sensitifs et moteurs. Bruxelles, 1902; extr. in-8° (6 p.).

— Analyse des mouvements et de la sensibilité dans l'anesthésie par l'éther. Bruxelles, 1902; extr. in-8° (4 p.).

— La fatigue intellectuelle et sa mesure. Bruxelles, 1903; extr. in-8° (41 p.)

— Asymétrie dolorifique. Bruxelles, 1903; extr. in-8° (4 p.).

— Mesure de la force dynamométrique des deux mains chez cent quarante étudiants de l'Université de Bruxelles. Bruxelles, 1903; extr. in-8° (9 p.).

— Influence de l'adrénaline et de quelques autres produits glandulaires sur la contraction musculaire. Bruxelles, 1903; in-8° (48 p.).

— Études sur la contraction tonique du muscle strié et ses excitatifs. Ouvrage couronné par l'Institut de France. Bruxelles, 1903; in-8° (100 p.).

— Mécanisme physiologique de la réaction de dégénérescence des muscles. Bruxelles, 1903; in-8° (18 p.).

— Influence du menthol sur les nerfs cutanés. (Avec la collaboration de P. Bilande, R. Narracott et J. Noel.) Bruxelles, 1903; in-8° (10 p.).

— Rapport quinquennal (1898-1903) sur les travaux du loboratoire psychologique Kasimir (Université de Bruxelles). Bruxelles, 1903; extr. in-8° (20 p.).

Ioteyko (*J.*). Recherches algésimétriques. (En collaboration avec M. Stefanowska.) Bruxelles, 1903; in-8° (86 p.).

— Les effets hyperkinétiques de l'alcool étudiés à l'ergographe. Bruxelles, 1903; in-8° (2 p.).

— Sur l'équation générale des courbes de fatigue. (En collaboration avec Charles Henry.) Paris, 1903; extr. in-4° (3 p.).

— Sur une loi de décroissance de l'effort à l'ergographe. (En collaboration avec Charles Henry.) Paris, 1903; extr. in-4° (3 p.).

— Sur une relation entre le travail et le travail dit statique, énergétiquement équivalents à l'ergographe. (En collaboration avec Charles Henry.) Paris, 1903; extr. in-4° (3 p.).

— Ergographie de la main droite et de la main gauche. Bruxelles, 1904; extr. in-8° (9 p.).

Pâque (*E.*). Note sur le *Pyrola secunda* L., espèce nouvelle pour la flore belge. Bruxelles, 1904; extr. in-8° (3 p.).

— Parasitisme spécial (Gui-Tilleul). Bruxelles, 1902; extr. in-8° (2 p.).

Crismer (*L.*). Les températures critiques de dissolution. Bruxelles, 1904; extr. in-8° (39 p.).

— A la mémoire de Jean Motteu. Expériences de cours et anecdotes de laboratoire. Bruxelles, 1903; extr. in-8° (8 p.).

Swaen (*A.*) et *Brachet* (*A.*). Étude sur la formation des feuillets et des organes dans le bourgeon terminal et dans la queue des embryons des Poissons téléostéens. Liége, extr. in-8° (156 p., pl.).

La Cellule, Recueil de cytologie (G. Gilson), tome XX, fasc. 1 et 2, 1902.

Mons. *Société des sciences, lettres et arts.* Mémoires, 6e série, tome V. 1903.

—

Allemagne et Autriche-Hongrie.

Haeckel (*Ernst*). Kunstformen der Natur, 10. und 11. Lieferung. Leipzig, 1904; in-4°.

Kolouska (*Jan*). Mathematicka theorie duchodu jistijch a pujcek annuitnich. Prague, 1904; in-8°.

Rimbach (*E.*). Das Kekulé-Denkmal in Bonn und die Feier seiner Enthüllung am 9 Juni 1903. Berlin, 1904; in-8° (27 p.).

Ratisbonne. *Kgl. botanische Gesellschaft.* Denkschriften, Band VIII, 1903.

Munich. *Botanische Gesellschaft.* Berichte, Band IX, 1904.

—

Grande-Bretagne et Colonies britanniques.

Lockyer (*Sir Norman*). Further researches on the temperature of classification of stars. Londres, 1904; extr. in-8°. (12 p. et 2 pl.).

Coghlan (*T.-A.*). A statistical account of Australia and New Zealand, 1902-1903. Sydney, 1904; in-8°.

Le Cap. *Association for the advancement of science.* Report of the first meeting, 1903.

Ottawa. *Geological Survey of Canada.* Altitudes in the Dominion of Canada, with a relief map of North America. 1901.

—

Pise. *R. Scuola normale superiore.* Annali scienze fisiche e matematiche, volume IX. 1904.

—

BATAVIA. *Genootschap van kunsten en wetenschappen.* De Java-oorlog van 1825-1830 (P. Louw), deel III, 1904.

—

GOTHEMBOURG. *Kgl. Vetenskaps Samhälle.* Handlingar, V-VI, 1903.

— *Högskola.* Arsskrift, Band VIII och IX, 1902-1903.

ACADÉMIE ROYALE DE BELGIQUE

BULLETIN

DE LA

CLASSE DES SCIENCES

1904. — N° 6.

CLASSE DES SCIENCES.

Séance du 4 juin 1904.

M. Léon Fredericq, directeur.

M. le chevalier Edmond Marchal, secrétaire perpétuel.

Sont présents : MM. P. De Heen, *vice-directeur;* G. Dewalque, Éd. Dupont, Éd. Van Beneden, C. Malaise, F. Folie, F. Plateau, Jos. De Tilly, Ch. Van Bambeke, Alfr. Gilkinet, G. Van der Mensbrugghe, W. Spring, Louis Henry, M. Mourlon, Paul Mansion, C. Le Paige, J. Deruyts, J.-B. Masius, J. Neuberg, A. Lancaster, Leo Errera, C. Vanlair, Julien Fraipont, A. Jorissen, P. Francotte, Paul Pelseneer, *membres;* Ch.-J. de la Vallée Poussin, A. Gravis et Aug. Lameere, *correspondants.*

CORRESPONDANCE.

—

La Classe prend notification de la mort de M. Ét.-Jules Marey, associé de la Section des sciences naturelles, décédé à Paris, le 15 mai dernier.

M. le Directeur rappelle que M. Marey, par ses travaux classiques sur la circulation, sur la méthode graphique et sur la chronophotographie, s'était placé depuis longtemps au premier rang des physiologistes contemporains. Sa perte sera donc aussi vivement ressentie par l'Académie, qui s'honorait de le compter parmi ses associés, que par le monde savant tout entier.

M. le Secrétaire perpétuel adressera une lettre de condoléance à la famille.

— M. Léon Fredericq rend compte de sa mission comme délégué de la Classe à la deuxième assemblée générale de l'Association internationale des Académies tenue à Londres, du 23 au 29 mai dernier. Ce compte rendu figurera au *Bulletin* (voir p. 735).

Les remerciements de la Classe sont adressés à M. Fredericq pour la manière dont il s'est acquitté de sa mission.

— Hommages d'ouvrages :

1° *Lianes caoutchoutifères de l'État Indépendant du Congo;* par Ém. De Wildeman et L. Gentil;

2° *La Terre tourne-t-elle? Réponse à M. Anspach;* par Ern. Pasquier;

3° *Recherches sur la digestion de la viande chez le chien*

après ligature des canaux pancréatiques; par Edg. Zunz et L. Mayer.

— Remerciements.

— Travaux manuscrits à l'examen :

1° *Contribution à l'étude de la dissociation des corps dissous : quatrième communication* (revision); par Ad. Vandenberghe. — Commissaires : MM. Henry et Spring;

2° *Sur la courbure des coniques et des cubiques gauches;* par Clém. Servais. — Commissaires : MM. Neuberg et Mansion;

3° *Sur la fonction gamma double* (revision); par J. Beaupain. — Commissaires : MM. de la Vallée Poussin, Mansion et Deruyts;

4° *Le mécanisme synthétique des forces cosmiques. Cosmophysique;* par Ch.-P. Devenyns. — Commissaires : MM. Lagrange et De Heen;

5° *Mémoire sur la recherche de la cause de l'ellipticité de l'orbite terrestre;* par E. Wattier. — Mêmes commissaires.

Compte rendu par M. Léon Fredericq *de sa mission, comme directeur de la Classe des sciences, à la seconde assemblée générale de l'Association internationale des Académies, tenue à Londres, dans les locaux de la Royal Society (Burlington House), en mai 1904.*

Messieurs et honorés Confrères,

Je me suis rendu à Londres la semaine dernière, du lundi 23 au samedi 29 mai, pour assister en qualité de représentant de la Classe des sciences aux réunions

de l'*Association internationale des Académies*. J'y ai défendu les conclusions adoptées par la Classe sur les différentes questions qui lui avaient été soumises précédemment par le *Comité de l'Association*, et j'ai contribué ainsi à obtenir des décisions conformes à vos désirs. Je crois inutile de vous donner lecture du texte des résolutions assez nombreuses adoptées à Londres. Vous recevrez d'ici à peu de temps les procès-verbaux officiels des séances, dont je ne possède encore que des épreuves provisoires. C'est sur mes instances que la résolution concernant les démarches à faire par les Académies auprès de leurs gouvernements respectifs pour la création d'Instituts concernant l'anatomie du cerveau a perdu tout caractère impératif et a été laissée à la libre appréciation de chaque Académie. Vos commissaires et spécialement MM. Vanlair et Masius s'étaient formellement prononcés dans ce sens.

J'ajouterai que le Comité m'a fait l'honneur de me désigner comme rapporteur, devant l'assemblée, des questions se rapportant à l'*Institut* Marey. J'ai cru devoir insister sur l'intérêt qu'il y a à conserver à cet organisme scientifique son caractère *international*, au moment surtout où, par suite du décès de M. Marey, l'existence de l'*Institut* Marey pourrait se trouver compromise.

La question de l'adoption d'une *langue internationale nouvelle* n'a pas été portée devant l'assemblée et je n'ai donc pas eu l'occasion de la discuter. Au reste, les différents membres qui ont pris part aux discussions paraissaient suffisamment comprendre le français, l'anglais et l'allemand, pour que la diversité des langues employées ne constituât pas une difficulté sérieuse. Toutes les résolutions soumises aux votes de l'assemblée étaient

d'ailleurs traduites et lues dans les trois langues internationales : français, anglais, allemand. L'impression toute personnelle que j'ai rapportée de ces réunions et discussions polyglottes, c'est que le besoin d'une quatrième langue internationale, *esperanto* ou *bolak*, à substituer plus ou moins aux trois autres, ne m'a pas semblé urgent, au moins en ce qui concerne les réunions de l'*Association internationale des Académies*.

Je tiens, en terminant, à rendre hommage à la cordialité, à la libéralité avec laquelle nous avons été accueillis par nos collègues anglais et par les autorités de leur pays.

RAPPORTS.

Sur le rapport verbal de M. Fredericq, le *Bulletin* renfermera une note de M. Humblet, intitulée : *Le faisceau musculaire interauriculo-ventriculaire, lien physiologique entre les oreillettes et les ventricules du cœur.*

Application nouvelle des invariants intégraux (note I); par Théophile De Donder.

Rapport de M. C.-J. de la Vallée Poussin, premier commissaire.

« La théorie des invariants intégraux a été fondée par M. Poincaré, qui en a exposé les principes d'une manière magistrale dans son ouvrage intitulé : *Les méthodes nouvelles de la mécanique céleste.*

M. De Donder a publié une *Étude sur les invariants intégraux* dans les *Rendiconti del Circolo matematico di Palermo*. (Premier mémoire, 1901 ; second mémoire, 1902.)

Dans ce travail, l'auteur expose sous une forme systématique la plupart des résultats connus et il y ajoute ses propres recherches. Les définitions et les notations ont quelque chose de personnel à l'auteur et nous ne les avons pas toujours trouvées aussi claires que nous l'aurions souhaité. Néanmoins, le point de vue de l'auteur est assurément légitime et tous les calculs assez nombreux que nous avons vérifiés ont été trouvés exacts.

La note que l'auteur vient de présenter à l'Académie consiste dans une application des méthodes exposées dans la précédente étude à la théorie des invariants différentiels.

M. Poincaré a fait connaître un procédé général pour déduire d'un invariant intégral d'autres invariants intégraux. Ce procédé a été développé par M. De Donder dans son étude. Mais il existe une correspondance complète entre les invariants intégraux et les invariants différentiels. Donc ce procédé est aussi un procédé général de formation des invariants différentiels.

L'auteur l'applique d'abord aux formes différentielles du second degré et retrouve ainsi par une méthode uniforme les paramètres différentiels et les invariants de courbure.

Dans un dernier paragraphe, l'auteur cherche à étendre les résultats précédents à des formes différentielles d'un degré quelconque. Le langage même de l'auteur indique que les résultats auxquels il arrive ne lui semblent pas encore absolument définitifs.

Quoi qu'il en soit, l'auteur fait preuve d'une connaissance approfondie du sujet et d'un véritable esprit de curiosité scientifique. Nous estimons qu'il y a lieu de publier sa note dans les *Mémoires* in-8° de l'Académie. »

—

Rapport de M. P. Mansion, deuxième commissaire.

« La note soumise à la Classe est une application et une suite des deux mémoires que l'auteur a publiés dans les *Comptes rendus du Cercle mathématique de Palerme* en 1901 et en 1902. Elle ne peut être comprise que par celui qui a sous les yeux au moins le premier de ces mémoires. C'est pourquoi, tout en trouvant comme notre premier commissaire la note de M. De Donder digne d'être insérée dans l'un des recueils de l'Académie, nous ne pouvons qu'engager l'auteur à la publier de préférence dans le journal mathématique où ont paru ses travaux antérieurs sur la matière.

Nous l'engageons aussi à rendre la bibliographie un peu plus précise, en ajoutant l'indication des tomes du *Journal de Crelle*, des *Mathematische Annalen*, des *Acta mathematica*, etc., à l'année de la publication, ces divers journaux publiant souvent plus d'un volume par année. »

M. J. Deruyts, troisième commissaire, déclare se rallier aux avis exprimés par ses savants confrères.

La Classe adopte ces conclusions; sur la demande de l'auteur son travail figurera dans les *Mémoires* in-8°.

—

Sur quelques amines à radical alcoolique fluoré;
par F. Swarts.

Rapport de M. W. Spring, premier commissaire.

« M. F. Swarts poursuit, toujours avec le même succès, la série des travaux qu'il a entrepris sur les dérivés organiques fluorés. Il fait connaître aujourd'hui les résultats de recherches nouvelles sur des *amines fluorées*, notamment sur la *difluoréthylamine* $C_2H_5Fl_2.NH_2$ et sur la *tétrafluordiéthylamine* $\begin{matrix} C_2H_5Fl_2 \\ C_2H_5Fl_2 \end{matrix} > NH$, qu'il a préparées par l'action de l'ammoniaque sur le *bromdifluoréthane*.

Il n'est pas possible de condenser en quelques mots la grande somme de travail dépensée dans ces recherches, ni de suivre l'auteur dans l'étude si complète qu'il a faite des propriétés de ces corps nouveaux. Je me bornerai à proposer à la Classe l'insertion du mémoire de M. Swarts dans le *Bulletin* de la séance : il formera une suite de grand mérite aux articles que la Classe a accueillis du même savant. »

M. Henry, second commissaire, déclare se rallier à l'avis de M. Spring. Cet avis est également adopté par la Classe.

—

Contribution à l'étude du chlorure de cobalt;
par le professeur Oechsner de Coninck.

Rapport de M. W. Spring.

« M. Oechsner de Coninck a constaté la solubilité du chlorure de cobalt hexahydraté dans le glycol, sans perte

d'eau d'hydratation, dans les conditions ordinaires de température; mais si l'on chauffe en permettant au glycol de se volatiliser, il y a perte d'eau et le sel devient anhydre. Celui-ci s'hydrate dans l'air humide, mais par degrés successifs; il devient d'abord *bihydraté*, puis *tétrahydraté* et enfin *hexahydraté*.

Je propose l'insertion de cette note dans le *Bulletin* de la séance. » — Adopté.

COMMUNICATIONS ET LECTURES.

Sur le système carbo-azoté - C = N a soudure double; par Louis Henry, membre de l'Académie.

Notice préliminaire.

Le système *carbo-azoté* - C = N, à soudure double, peut être admis dans un certain nombre de composés carbonés d'origine et de fonctions diverses, notamment dans les *imines aldéhydiques* R - CH = NH. Des composés de cette sorte ne sont guère connus jusqu'ici, du moins ils n'existent qu'en nombre fort restreint; mais on en connaît les dérivés *alkylés*, R - CH = NR′, l'hydrogène du groupement *imidogène* = NH étant remplacé par un radical hydrocarboné R′, C_nH_x monovalent. Ces *imines aldéhydiques mono-substituées* R - CH = NR′ sont au fond des bases nitrilées d'un genre spécial. L'expression des noms

des radicaux qu'elles renferment permet de leur donner des noms rationnels, qui ne blessent pas l'euphonie.

$H_3C - CH = N.CH_2.CH_3$	Éthyl-éthylidène imine.
$H_3C - (CH_2)_2CH = N.CH_2.(CH_2)_2 - CH_3$	Butyl-butylidène imine normale.
$H_3C - (CH_2)_2 - CH = N.CH_2 - CH < \begin{matrix} CH_3 \\ CH_3 \end{matrix}$	Isobutyl-butylidène imine.

Ces bases aldéhydiques sont connues depuis Gerhardt, dans le groupe aromatique. Mon intention n'est pas, en ce moment, d'en rappeler l'histoire, assez courte d'ailleurs, dans le groupe aliphatique. Je me bornerai à dire qu'elles s'obtiennent aisément, en général, par la réaction directe des *aldéhydes* $R - CH = O$ sur les *amines mono-substituées* $R'NH_2$.

Depuis l'époque où je me suis occupé, dans une notice préliminaire, de cette réaction et des bases imidées qui en dérivent (*), j'en ai continué l'étude, dans le but d'avoir à ma disposition l'ensemble de ces composés, depuis l'étage C_1 jusqu'à l'étage C_7, tant en ce qui concerne les aldéhydes qu'en ce qui concerne les bases amidées correspondantes. J'espère être à même de publier un travail assez complet sur cet objet dans un prochain avenir.

En attendant, je ne crois pas inutile de signaler d'une manière particulière certaines propriétés saillantes et caractéristiques du système *carbo-azoté* $- HC = N - R'$, à soudure double, renfermé dans ces dérivés aldéhydiques.

(*) *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique,* 3e sér., t. XXVI, p. 200 (année 1893), et t. XXIX, pp. 23 et 489 (année 1895).

A. — *Stabilité et transformations.*

Il existe *trois* systèmes *carbo-azotés* différents par le degré de soudure des atomes constitutifs C et N (*) :

a) Soudure *simple* ou *unique* $\equiv C - N =$, dans les dérivés *amidés* d'ordres divers;

b) Soudure *double* $= C = N -$ dans les dérivés *imidés;*

c) Soudure *triple* $- C \equiv N$ dans les nitriles proprement dits.

Le système à *soudure simple* $\equiv C - N$, alors que C et N ne sont associés qu'à de l'hydrogène ou du carbone, comme dans les bases amidées proprement dites $H_3C - NH_2$, $H_3C - CH_2 - NH_2$, etc., se fait remarquer par sa stabilité vis-à-vis des *bases* hydratées et des *acides,* en présence de l'eau.

Le système à soudure *triple* $- C \equiv N$, des nitriles proprement dits, est au contraire puissamment affecté, dans ces conditions, par ces deux sortes de réactifs,

$$- C \equiv N + 2 H_2O = - C < \begin{matrix} O \\ OH \end{matrix} + NH_3,$$

dans le sens indiqué par cette équation générale.

Le système à *double* soudure $- CH = N -$, des bases *imidées* aldéhydiques, est intermédiaire; il est stable en présence des bases hydratées, mais les acides, en présence de l'eau, transforment ces bases aldéhydiques en leurs générateurs primitifs ou correspondants

$$- CH = N\ R + H_2O = - CH = O + NH_2R.$$

(*) Il n'est ici question que des systèmes carbo-azotés où N est fixé sur un *seul* atome de carbone.

B. — *Réactions d'addition.*

A l'instar d'autres systèmes à soudure *double,* tels que $>C=C<$, $HC=O$, le système *carbo-azoté* se fait remarquer par son pouvoir additionnel vis-à-vis de certains systèmes moléculaires simples ou composés. Je signalerai particulièrement les suivants :

1° *Addition d'hydrogène* H_2. — Cette addition se réalise dans des conditions fort avantageuses par l'*amalgame aluminique* au sein de l'alcool fort. Parfois elle s'exerce avec une puissante énergie qui nécessite une réfrigération intense et continue.

L'amalgame sodique a déjà été employé dans le même but, mais l'amalgame aluminique est d'un emploi certainement plus aisé et plus commode.

Je ne doute pas que l'*hydrogène ordinaire,* en présence du *nickel réduit à basse température,* ne soit susceptible aussi de se fixer sur ces composés. Je n'ai pas été à même d'utiliser cette méthode ingénieuse d'hydrogénation dont ses auteurs, MM. Sabatier et Senderens, ont tiré un si grand profit.

Il se fixe dans ces conditions une molécule d'hydrogène, le système $-HC=N-R$ se transformant en $-H_2C-NHR$, et la base *aldéhydique* imidée se transforme en une base *imidée* ammoniacale, bi-substituée.

Je signale cette réaction comme une méthode fort pratique de préparation des bases ammoniacales bi-substituées $R-CH_2-NHR'$. On a obtenu de cette manière un bon nombre de composés de ce groupe, encore inconnus jusqu'ici.

Les *imines aldéhydiques* mono-substituées $HC=N-R$ diffèrent en général quant à la *volatilité* des bases *imidées* correspondantes $-H_2C-NHR$, le point d'ébullition de

celles-ci étant situé à 10° environ plus haut dans l'échelle thermométrique.

Dérivés normaux simples.

$H_3C - CH = N - C_2H_5$	Éb.	48°	+ 7°
$H_3C - CH_2 - NH - C_2H_5$	—	55°	
$H_3C - CH_2 - CH = N - C_3H_7$	Éb.	101°	+ 9°
$H_3C - CH_2 - CH_2 - NH - C_3H_7$	—	110°	
$H_3C - (CH_2)_2 - CH = N - C_4H_9$	Éb.	150°	+ 10°
$H_3C - (CH_2)_2 - CH_2 - NH - C_4H_9$	—	160°	
$H_3C - (CH_2)_3 - CH = N - C_5H_{11}$	Éb.	201°	+ 9°
$H_3C - (CH_2)_3 - CH_2 - NH - C_5H_{11}$	—	210°	

Dérivés mixtes, iso et normaux.

$CH_3 - CH_2 - CH = N - C_3H_7$ (iso)	Éb.	87°-88°	+ 6°
$CH_3 - CH_2 - CH_2 - NH - C_3H_7$ (iso)	—	94°	
$CH_3 - (CH_2)_2 - CH = N - C_4H_9$ (iso)	Éb.	139°-140°	+ 7°-8° (*)
$CH_3 - (CH_2)_2 - CH_2 - NH - C_4H_9$ (iso)	—	147°-148°	

(*) Je pourrais multiplier beaucoup ces exemples. Je ferai remarquer que les mixtes, quels qu'ils soient, sont identiques, quel que soit le composé aldéhydique dont ils proviennent; ainsi

$$H_3C - CH = N - C_7H_{15}(n)$$
$$H_3C - CH - N = CH - (CH_2)_5 - CH_3$$

$$H_3C - (CH_2)_2 - CH = N - C_4H_9(iso)$$
$$H_3C - (CH_2)_2 - CH_2 - N = CH - CH < \begin{matrix} CH_3 \\ CH_3 \end{matrix}$$

fournissent des produits d'hydrogénation respectivement identiques.

Il s'ensuit que la transformation du système $-H_2C-NHR$ en $-HC=N\cdot R$, de même que celle de $-H_2C-OH$ en $HC=O$, de $-H_2C-CH_2-$ en $-HC=CH-$, etc., par suite de l'élimination de H_2, s'accompagne d'une augmentation de volatilité et d'un abaissement dans le point d'ébullition, abaissement variable d'ailleurs dans les divers systèmes à soudure double qui en résultent.

$H_3C-CH_2\cdot OH$	Éb. 78°	$H_3C-CH=O$	Éb. 21°
$H_3C-CH_2\cdot NH(C_2H_5)$	— 55°	$H_3C-CH=N\cdot C_2H_5$	— 48°
$H_3C-CH_2-CH_3$	— −39°	$H_3C-CH=CH_2$	— −50°.

2° *Addition des sulfites acides* HSO_2-OR. — De même que le système $HC=O$ des *aldéhydes proprement dites,* le système correspondant *azoté* $HC=N-$ jouit de la propriété de s'ajouter aux *sulfites acides.* C'est le *sulfite monosodique* HSO_2-ONa, en solution concentrée que j'ai employé.

La combinaison est instantanée dans la généralité des cas, et le produit formé se présente sous forme d'aiguilles ou de lamelles cristallines, totalement insoluble, alors que l'imine aldéhydique est fortement carbonée ou peu soluble aux étages inférieurs de carburation.

De même que les composés d'addition formés par les aldéhydes, ceux-ci sont aussi scindés en leurs générateurs par les acides étendus et les bases libres.

Il ne peut pas y avoir de doute au sujet de la nature de ces produits, et l'on peut, comme aux composés aldéhydiques, les rattacher à la formule générale

$$-H.C < \begin{matrix} SO_2-ONa \\ NH- \end{matrix}$$

Le composé formé par l'*iso-amyl-œnanthylidène-imine*

$C_7H_{14} = N - C_5H_{11}$, qui se présente sous forme de petites paillettes nacrées et est fort peu soluble dans l'eau, a été soumis à l'analyse.

3° *Addition de l'acide cyanhydrique* HCN. — Même à l'état de gaz et sec, l'acide cyanhydrique s'ajoute au système *carbo-azoté* HC = N -, pour le transformer dans le *système bi-carboné amino-nitrilique* NC - CH - NH - (*).

Il y a là un fait de synthèse carbonée des plus remarquables, tout à la fois par la facilité et l'intensité avec lesquelles il est réalisé.

L'addition de l'*acide cyanhydrique gazeux et anhydre* a été réalisée sur les bases aldéhydiques suivantes :

Éthyl-éthylidène imine	$CH_3 - CH = N - C_2H_5$.	Éb. 48°
Propyl-propylidène	$- CH_3 - CH_2 - CH = N - C_3H_7$.	Éb. 101°-102°.
Isobutyl-éthylidène	$- CH_3 - CH = N - C_4H_9$.	Éb. 90°-91°.

Il résulte de là les imines cyanées suivantes :

$$\begin{matrix} H_3C \\ NC \end{matrix} > CH - NH\,(C_2H_5) \qquad \text{Éb. } 153°\text{-}154°$$

$$H_3C - \begin{matrix} CH_2 \\ NC \end{matrix} > CH - NH\,(C_3H_7) \qquad \text{— } 176°\text{-}177°$$

$$\begin{matrix} H_3C \\ NC \end{matrix} > CH - NH\,(C_4H_7)\,(\text{iso}) \qquad \text{— } 168°\text{-}169°.$$

On voit que l'addition de H - CN au système - HC = N - détermine une élévation considérable dans le point d'ébullition : de 48° à 154° ou 106°; de 101°-102° à 177°

(*) On sait déjà que les bisulfites et l'acide HCN s'ajoutent aussi au système - C=N(OH) des *aldoximes* et des *acétoximes*.

ou 75°; de 90°-91° à 169° ou 78°, élévation moindre toutefois que celle que détermine la fixation de HCN sur un système *éthylénique* C = C.

$$\left.\begin{array}{l} H_2C \\ \| \\ H_2C \\ \\ CN \\ | \\ CH_2 \\ | \\ CH_3 \end{array}\right. \quad \left.\begin{array}{l} \text{Éb. } -104^\circ \\ \\ \\ \text{Éb. } +98^\circ \end{array}\right\} +202^\circ.$$

On conçoit que la fixation de H - CN sur le système *carbo-azoté* HC = N - peut se faire de deux manières différentes :

a) H sur = CH d'où - CH_2 et NC - sur N = d'où - $\begin{matrix} N \\ | \\ CN \end{matrix}$;

b) H sur N d'où - NH - et - CN sur - CH = d'où CN - CH -.

C'est le second système qui répond à la réalité. La preuve en est double :

1° Les bases cyanées résultant de cette addition cyanhydrique sont identiques à celles qui résultent de la réaction des *amines mono-substituées* sur les *cyanhydrines aldéhydiques* - CH(OH) - CN, produit de l'addition de HCN aux aldéhydes proprement dites.

$$H_3C-CH(OH)-CN+NH_2(C_2H_5) = H_3C-CH(NH\cdot C_2H_5)-CN+HOH$$

Éb. 153°-154°.

$$H_3C-CH=N\cdot C_2H_5+HCN = H_3C-CH(NH\cdot C_2H_5)-CN$$

Éb. 153°-154°.

2° L'addition suivant *a* donnerait lieu à des *bases*

iminocyanées. Or, ces composés sont connus et ont des propriétés qui les éloignent totalement de leurs isomères

$$H_3C - CH = N \cdot C_2H_5 + HCN = H_3C - CH_2 \cdot \underset{\underset{CN}{|}}{N} \cdot C_2H_5$$

La *cyandiéthylamine* ou la *diéthyl-cyanamide* est un composé bouillant à 186°. Avec les acides de même qu'avec les bases, elle se transforme en diéthyl-amine $HN(C_2H_5)_2$, CO_2 et NH_3. Son isomère, l'*imine nitrilique* $CH_3 - \underset{\underset{NH(C_2H_5)}{|}}{CH} - CN$ se dédouble par hydratation d'une façon différente :

a) Les acides hydratés l'attaquent du côté CN, en la transformant successivement en *amide* puis en acide éthyl-amino-lactique

$$H_3C - \underset{\underset{NH\,(C_2H_5)}{|}}{CH} - C < \begin{matrix} O \\ NH_2 \end{matrix} ; \quad H_3C - \underset{\underset{NH\,(C_2H_5)}{|}}{CH} - C < \begin{matrix} O \\ OH \end{matrix}$$

Les *bases,* au contraire, rompent la soudure carbonée entre - CN et - CH - et régénèrent les produits primitifs $H_3C - CH = O$, $NH_2(C_2H_5)$ et HCN.

Voici le détail d'une des opérations de ce genre qui ont été réalisées :

Dans 10 grammes, soit $^1/_{10}$ de molécule, de *propyl-propylidène-imine* $H_3C - CH_2 - CH = NH - CH_2 - CH_2 - CH_3$, éb. 101°-102°, produit de l'action de la propylamine sur l'aldéhyde propionique, on a dirigé un courant d'acide cyanhydrique HCN gazeux et sec. L'absorption est vive et accompagnée d'un dégagement de chaleur assez intense

pour nécessiter le refroidissement de la masse en plongeant le vase dans l'eau. Le liquide reste clair et incolore. La réaction étant terminée, et le gaz HCN s'échappant, on constate que le poids a augmenté de 5 grammes. L'absorption d'une molécule de HCN correspond à $2^{gr}7$.

A la distillation, il s'échappe d'abord l'excédent de l'acide prussique dissous ou fixé sur le système - CH = NH (C_5H_7). Puis le thermomètre s'élève rapidement à 170° et au delà. Le produit bout, fixe, à une seconde rectification à 176°-177°.

Ces *imines cyanées* correspondent finalement à *trois corps* distincts qui en sont les générateurs : H - CN, une *base amidée* H_2N - R, et un oxyde > C = O (*aldéhyde* ou *acétone*). J'ai constaté que, quel qu'il soit, l'ordre dans lequel ces trois corps sont présentés les uns aux autres, deux à deux, est indifférent; dans les trois cas possibles, le produit de la réaction est toujours le même. Ainsi se trouve réalisé ce que je pourrais appeller le problème de la *constance de juxtaposition des trois corps.*

Je l'ai d'abord constaté en ce qui concerne le système H - CN, CH_3 - CH = O et H_2N - C_2H_5 que l'on peut combiner des trois façons suivantes :

a) Réaction de H_2N - C_2H_5 sur le produit de la réaction de HCN sur l'aldéhyde acétique (*nitrile lactique* ordinaire H_3C - CH(OH) - CN);

b) Réaction de HCN sur le produit de la réaction de l'amine éthylique H_2N - C_2H_5 sur l'aldéhyde H_3C - CH = O (*éthyl-éthylidène imine* H_3C - CH = N - C_2H_5);

c) Réaction de l'aldéhyde H_3C - CH = O sur le *cyanhydrate d'éthyl-amine* $H_5C_2.NH_2.HCN$.

Ces diverses réactions ont été réalisées en présence de

l'eau. Je laisserai de côté les deux premiers systèmes où les produits initiaux donnent lieu à des composés bien définis $H_3C - CH(OH) - CN$ et $H_3C - CH = N.C_2H_5$. Je m'arrêterai exclusivement au troisième dont voici le détail opératoire :

10 grammes de HCNaq de 25 °/₀ ont été ajoutés à 13 grammes de $H_3C - CH_2(NH_2)$ en solution de 33 °/₀, soit $^1/_{10}$ de la molécule des composés anhydres. La température s'est élevée de 13° à 30°. On a ajouté à ce liquide 17 grammes d'une solution d'aldéhyde acétique dans l'eau $H_3C - CH = Oaq$ de 26 °/₀, soit $^1/_{10}$ de molécule. La température s'est élevée, au moment du mélange, de 14° à 47°. Tout est resté en solution. L'addition à la masse liquide de K_2CO_3 solide et sec en fait sortir le produit $H_3C - \underset{\underset{NH(C_2H_5)}{|}}{CH} - CN$ qui, après dessiccation par le même corps, bout à 154°-155°, sous la pression ordinaire.

Le *méthanal* $H_2C = O$ est la forme originelle des *aldéhydes* et des *acétones* polycarbonées qui en résultent par la substitution à l'hydrogène du *méthylène* CH_2, une fois ou deux fois, de groupements hydrocarbonés C_nH_x, monovalents, X étant un nombre impair

$$H_2C = O \qquad \underset{\underset{CH_3}{|}}{HC} = O \qquad \begin{matrix} C = O \\ H_3C \quad CH_3 \end{matrix}$$

J'ai tenu à réaliser le problème de l'identité du produit de la *réaction des trois corps,* malgré la différence de l'ordre de leur présentation réciproque, pour chacun de ces trois systèmes, le méthanal lui-même et ses deux

dérivés de méthylation, l'aldéhyde et l'acétone. On passe ainsi de

C_1 à C_2 $\quad H_2C=O \quad$ d'où $\quad \begin{array}{l} CN \\ | \\ CH_2-N< \end{array}$

de

C_2 à C_3 $\quad \begin{array}{l} HC=O \\ | \\ CH_3 \end{array} \quad$ d'où $\quad \begin{array}{l} CN \\ | \\ CH-N< \\ | \\ CH_3 \end{array}$

de

C_3 à C_4 $\quad \begin{array}{c} C=O \\ H_3C \quad CH_3 \end{array} \quad$ d'où $\quad \begin{array}{c} CN \\ | \\ C-N< \\ H_3C \quad CH_3 \end{array}$

Ne possédant le méthanal qu'en solution aqueuse, j'ai, pour rendre les conditions de ces réactions comparables, aussi opéré avec les solutions aqueuses de l'aldéhyde et de l'acétone. L'acide HCN et la base ammoniacale ont été de même employées en solution dans l'eau. Il n'est possible de faire usage des bases amidées $H_2N-C_nH_{2n+1}$ que pour l'aldéhyde et l'acétone. Les dérivés du genre $NC-CH_2(NH \cdot C_nH_{2n+1})$ manquant de stabilité, j'ai fait usage pour l'ensemble des trois systèmes oxygénés, $H_2C=O$, $CH_3-CH=O$ et $(CH_3)_2C=O$, d'une base bi-substituée, la diméthyl-amine $(H_3C)_2NH$, aq. en solution aqueuse de 33 %.

Les divers produits résultant de la triple combinaison en question

$$NC - CH_2 - [N \cdot (CH_3)_2] \qquad \text{Éb. } 139^\circ$$

$$NC - \underset{\underset{CH_3}{|}}{CH} - [N \cdot (CH_3)_2] \qquad \text{Éb. } 144^\circ$$

$$NC - \underset{H_5C \quad CH_3}{\overset{\frown}{C}} - [N \cdot (CH_3)_2] \qquad \text{Éb. } 152^\circ$$

sont respectivement identiques, quel que soit l'ordre de leur combinaison successive.

* * *

L'acide H - CN met en pleine lumière l'équivalence fonctionnelle des systèmes aldéhydiques

$$\underset{|}{HC} = O, \quad \underset{|}{HC} = NH \text{ (et ses dérivés } HC = NC_nH_{2n+1}).$$

Leur aptitude à la polymérisation l'établit au point de vue physique.

On sait combien sont variées les aptitudes réactionnelles du groupement aldéhydique proprement dit $\underset{|}{HC}=O$; j'ai des raisons de croire qu'il en est de même, dans une certaine mesure, du groupement *imino-aldéhydique* $\underset{|}{HC}=NH$ et de ses dérivés. On a déjà constaté, dans mon laboratoire, l'intensité avec laquelle les *imines aldéhydiques mono-substituées,* telles que $H_3C - CH = N \cdot C_nH_{2n+1}$,

réagissent avec les paraffines nitrées et notamment avec le *nitro-méthane* $H_3C - NO_2$. Il y a à faire à ce sujet toute une étude dont il est inutile de faire ressortir l'intérêt. La facilité et la netteté avec lesquelles les *aldéhydes* réagissent avec les composés *organo-magnésiens* $R \cdot MgX$, pour former, à la suite de l'action de l'eau, des *alcools secondaires,* me font espérer qu'il en sera de même des *imines aldéhydiques mono-substituées* $HC = N \cdot C_nH_{2n+1}$ pour déterminer, dans les mêmes conditions, la production d'*amines bi-substituées* renfermant le système $> CH - NH - C_nH_{2n+1}$.

$$H_3C - CH = O + CH_3 \cdot MgI = H_3C - \underset{\underset{CH_3}{|}}{CH} - OMgI$$

$$H_3C - CH = N \cdot C_2H_5 + CH_3 \cdot MgI = H_3C - \underset{\underset{CH_3}{|}}{CH} - N < \begin{matrix} C_2H_5 \\ MgI \end{matrix}$$

$$\begin{matrix} H_3C - \underset{\underset{CH_3}{|}}{CH} - O \cdot Mg \cdot I \\ H_3C - \underset{\underset{CH_3}{|}}{CH} - N < \begin{matrix} C_2H_5 \\ Mg.I \end{matrix} \end{matrix} + H \cdot OH = \begin{matrix} H_3C - \underset{\underset{CH_3}{|}}{CH}(OH) \\ H_3C - \underset{\underset{CH_3}{|}}{CH} - NH\ C_2H_5 \end{matrix} + Mg < \begin{matrix} OH \\ I \end{matrix}$$

Des expériences sont instituées dans ce but dans mon laboratoire.

Je tiens à adresser, en terminant, tous mes remerciements à mon assistant, M. Auguste De Wael, pour la part qu'il a prise dans ces recherches au point de vue expérimental.

—

La théorie électro-magnétique du calorique et le phénomène de Hall; par P. De Heen, membre de l'Académie.

Cette note est principalement destinée à montrer comment, à l'aide de la conception imagée des phénomènes électriques et calorifiques, il est aisé de se rendre compte de ceux-ci et d'en prévoir de nouveaux. La méthode que nous proposons peut se comparer à la géométrie, si la méthode généralement mise en usage se compare à l'analyse.

Avant d'aborder l'étude du phénomène de Hall, il importe de compléter nos connaissances au sujet d'une notation que nous avons été obligé d'introduire dans notre « Prodrome de la théorie mécanique de l'électricité » et dont nous ne pouvions comprendre alors qu'imparfaitement le sens.

Toute notre théorie repose sur la conception de l'élément matériel gyrostatique aspirant et foulant, représenté par l'image $\leftarrow \overset{+}{<}\!\!\!-\!\!\!-\!\!\!-\!\!\!< \overset{-}{\leftarrow}$. Nous constatons avec plaisir que M. G.-W. Walker (1), dans sa théorie de la réfraction des gaz, a été amené à admettre que la molécule de ces corps est formée de particules de masses m_1 et m_2 et de charges électriques $+ e$ et $- e$. Elles sont de grandeur finie et placées à une distance minimum qu'elles ne peuvent franchir.

(*) *Philosophical Magazine*, 1903, t. VI, 6e sér.

Ces particules décrivent des circonférences autour d'un centre commun... On ne saurait mieux exprimer notre pensée.

Lénard conclut également à l'élément *bipôle*, et désigne l'*ion* sous le nom de *dynamide*.

Malgré le pessimisme dont je ne puis me défendre, je me demande si les physiciens ne franchiront pas bientôt le pas qui nous sépare. D'une part, ils commencent à admettre généralement que l'élément matériel est bipôle, ainsi que nous l'avons admis le premier; d'autre part, plusieurs admettent encore que l'élément matériel est gyrostatique; pourquoi ne pas admettre alors, enfin, que le phénomène électrique est le résultat de l'aspiration et du refoulement de l'éther dû à cette gyration.

Dans tous les cas, la conception de corpuscules positifs ou négatifs se déplaçant isolément est aussi invraisemblable que celle de pôles magnétiques qui se comporteraient dans les mêmes conditions.

Cependant, le fait qu'il existe des substances essentiellement positives et essentiellement négatives nous obligeait à introduire les signes $\leftarrow\!\!\!-\!\!\!-\!\!\!\rightarrow$ et $>\!\!\!-\!\!\!-\!\!\!<$ dont la signification mécanique paraissait inexplicable.

Or, comme nous l'avons remarqué plus tard, ces ions correspondent aux ions électrolytiques, tourbillons de longueur indéfinie, formés par les ions élémentaires.

Si ces tourbillons laissent échapper des ions orientés positivement, de manière à réaliser des rayons canaux, l'ion électrolytique sera électro-positif, et inversement, s'il émet des ions orientés négativement.

Nous remplaçons donc respectivement les images $\leftarrow\!\!\!-\!\!\!-\!\!\!\rightarrow$ et $>\!\!\!-\!\!\!-\!\!\!<$ par les images figure 1.

Ces tourbillons représentent les éléments gazeux et l'axe des molécules solidogéniques. Suivant que les courants α s'orientent dans le même sens ou en sens contraire du courant aimant, la substance est magnétique ou diamagnétique.

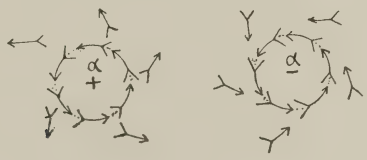


Fig. 1.

Ces courants sont *athermiques*, ils peuvent exister au zéro absolu, la résistance est nulle.

L'établissement du courant thermique, qui correspond à l'image figure 2, qui s'établit suivant toutes les directions, préside principalement à la conduction de la chaleur par induction électro-magnétique, due à l'oscillation calorifique des électrons. Les isothermes sont les lignes d'égale intensité de courants.

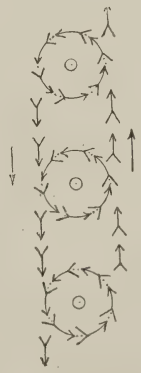


Fig. 2.

Ainsi que nous l'avons dit et ainsi que l'expérience le confirme, la conductibilité électrique et la conductibilité calorifique sont des grandeurs proportionnelles.

Remarquons cependant que des corps non conducteurs

de l'électricité devraient être absolument non conducteurs de la chaleur. En réalité, ils le sont faiblement. Les courants atomiques que nous désignons sous le nom d'athermiques parce qu'ils le sont réellement au *zéro absolu*, mais non complètement à une température plus élevée, induisent donc faiblement de la chaleur.

Il est facile de voir, d'après la figure 3, comment un courant thermo-électrique s'établit entre un corps électro-positif *A* et un corps électro-négatif *B*. L'un des courants, celui de droite, est rompu.

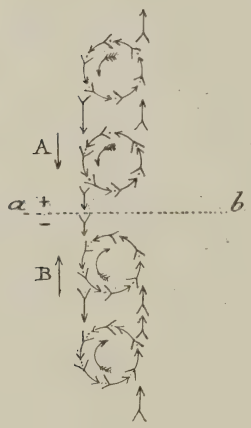


Fig. 3.

Mais il ne suffit pas, pour que ce résultat soit obtenu, que le corps soit électro-positif et électro-négatif, il importe également que les axes des molécules solidogéniques se disposent normalement à la direction du courant, c'est-à-dire parallèlement à la surface. Si l'inverse a lieu, on constatera les actions de contact électrostatiques. (Voir également l'image de pyro-électricité dans les cristaux.)

Remarquons encore que la disposition figure 3 est celle qui correspond à la plus grande résistance, car on sait que celle-ci est plus faible suivant la direction des axes cristallographiques, c'est-à-dire suivant la direction des tourbillons dont nous indiquons la section.

Or, si l'on fait agir l'aimant sur une substance parcourue par un courant de telle manière que la direction du

courant soit normale aux lignes de force, les éléments tourbillons se disposeront parallèlement au plan *ab* (fig. 3), que la substance soit magnétique ou diamagnétique. *Il y aura donc accroissement de résistance*, la résistance étant plus faible suivant la direction axiale.

Quant au sens de la rotation du courant, il sera donné par la figure 4.

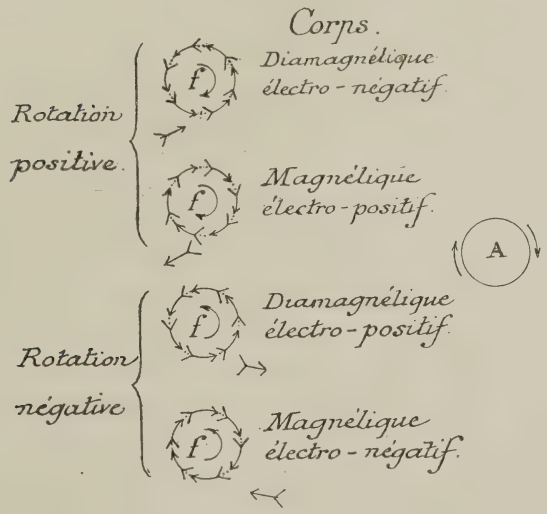


Fig. 4.

Le sens du courant atomique est indiqué par l'orientation des ions; il est parallèle ou de sens contraire au courant aimant *A*, suivant que la substance est magnétique ou diamagnétique. Les flèches *f* indiquent le sens de la rotation des tourbillons atomes. Elles indiquent donc le sens de la déviation de la projection ou du courant ionique.

Il est facile de voir quelle sera l'action de l'aimant sur les courants permanents *électro-thermiques*, qui régissent la température.

Rappelons que la propagation de la chaleur est due à l'induction des *courants isothermiques*, et que cette induction est directement proportionnelle, toutes choses étant égales, à l'intensité du courant ou inversement proportionnelle à la résistance électrique. Or l'aimant a pour effet d'orienter les courants thermiques qui montraient la moindre résistance (ceux dirigés suivant la direction axiale) normalement à la direction des tourbillons, correspondant à la plus grande résistance (leur axe coïncide avec les lignes de force), ainsi que l'indique la figure 2. L'intensité des courants électro-thermiques sera donc diminuée dans la même mesure que l'intensité des courants électriques ordinaires. Les isothermes qui correspondent aux courants électro-thermiques subiront la même rotation que le courant proprement dit. On sait que cette constatation a été faite par M. Leduc (*).

Ce fait de la déviation des isothermes par l'aimant constitue une des meilleures preuves qu'elles se confondent avec la direction de courants bien réels.

On voit que notre théorie est d'accord avec celle de M. Goldhammer, d'après laquelle un corps isotrope devient allotrope lorsqu'il est placé dans un champ magnétique (**).

Nous pouvons maintenant compléter l'image du phénomène de l'électrolyse que nous avons représentée par la figure 5.

(*) *La lumière électrique*, t. XXV, p. 65.
(**) *Annales de Wiedemann*, t. XXXI, p. 370.

Les espaces α, β, γ sont occupés par les ions électrolytiques iodynamiques. Les ions μ sont les ions électrolytiques polarisants, électro-négatifs, dont nous avons fourni la représentation (fig. 1).

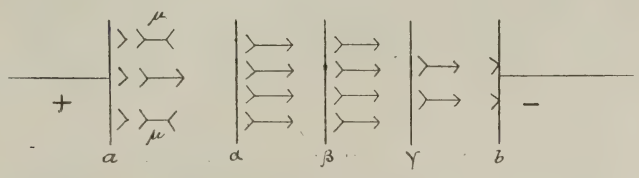


Fig. 5.

C'est ainsi qu'une image de *haute fantaisie* (*) permet peu à peu de faire dériver les phénomènes électriques et calorifiques d'une conception fondamentale unique, celle de l'élément matériel gyrostatique aspirant et foulant.

L'auteur de cet article ne possède pas la moindre notion de l'idée générale qui nous a guidé dans la rédaction de cet ouvrage. Ensuite il croit, par exemple, que nous attachons une importance considérable à une image, celle de l'ion, que l'on pourrait remplacer par beaucoup d'autres, pourvu qu'elles représentassent un système gyrostatique déformable aspirant et foulant. Au contraire, des faits très importants et qui constituent la base de ces développements n'ont nullement attiré son attention. L'auteur devrait également savoir que les phénomènes de la nature s'étudient qualitativement avant de s'étudier quantitativement, et que comme il est impossible d'exé-

(*) Voir *Beiblätter*, 1904, p. 567.

cuter le tout simultanément, l'étude quantitative suivra l'étude qualitative.

Il faudra pour cette question le temps nécessaire pour que l'assimilation se produise. Je serai peut-être ici d'accord avec mon savant contradicteur. C'est du reste ce que nous avons pu constater à propos d'une autre question dont nous nous sommes occupé précédemment.

—

Sur quelques amines à radical alcoolique fluoré (première communication); par Fréd. Swarts, professeur à l'École du Génie civil annexée à l'Université de Gand.

Le bromdifluoréthane $CHFl_2 - CH_2Br$ se comporte dans de nombreuses réactions comme le bromure de difluoréthyle. Il en est de même de l'ioddifluoréthane. La grande affinité du fluor pour le carbone rend le radical $CHFl_2 - CH_2 -$ fort stable; les deux atomes de fluor qu'il renferme n'y sont que peu mobiles. L'activité chimique du brom- et de l'ioddifluoréthane est presque exclusivement concentrée sur le brome ou l'iode. C'est ainsi que ces deux corps m'ont conduit à l'obtention d'une série de dérivés bifluorés : l'alcool bifluoré (*), les éthers mixtes de cet alcool et de quelques alcools de la série grasse (**), l'acide difluoracétique (***).

La présence des deux atomes de fluor dans le radical $-C_2H_3Fl_2$ influe même sensiblement sur la mobilité de

---

(*) *Sur l'alcool bifluoré* (BULL. DE L'ACAD. ROY. DE BELGIQUE).

(**) *Sur quelques dérivés fluobromés en* C_2 (quatrième communication) (BULL. DE L'ACAD. ROY. DE BELGIQUE).

(***) *Sur l'acide difluoracétique* (BULL. DE L'ACAD. ROY. DE BELGIQUE).

l'atome d'hydrogène voisin, que leur puissante affinité retient dans le chaînon - $CHFl_2$. Elle rend plus difficile la formation de dérivés éthyléniques par soustraction d'acide bromhydrique. Aussi voyons-nous que l'action de la potasse alcoolique donne surtout des éthers simples et peu de difluoréthylène et que l'eau en présence d'oxyde de plomb ou d'autres oxydes métalliques transforme le dibromfluoréthane en alcool bifluoré (*), tandis que le tribrométhane CH_2Br - $CHBr_2$, soumis au même traitement, devient du dibrométhylène.

L'action de l'ammoniaque sur le bromure et l'iodure de difluoréthyle se localise également sur l'angle bromé ou iodé : elle ne détermine pas une soustraction d'hydracide, mais une transformation en amine fluorée saturée, et ces deux dérivés polyhalogénés se comportent ici encore comme les éthers haloïdes de l'alcool bifluoré.

Les amines fluorées que j'ai obtenues ainsi ne sont pas les premiers corps connus de ce type. On doit à Gabriel et à ses collaborateurs (**) la découverte des premières amines monochlorées ou bromées, obtenues par l'action des hydracides sur les dérivés monohalogénés des alkylphtalimides.

Antérieurement, M. Henry (***) obtenait le premier représentant des amines à radical alcoolique bihalogéné, l'α-β-dibrompropylamine, par l'union du brome à l'allylamine. Cette amine fut étudiée plus tard par Paal (IV) avec plus de détails.

(*) *Sur la saponification des éthers haloïdes par les oxydes insolubles en présence de l'eau* (BULL. DE L'ACAD. ROY. DE BELGIQUE).

(**) *Ueber einige Derivate des Aethylamin* (BERICHTE, Bd XXI, 566).

(***) *Additionsprodukte des Allylamins* (BERICHTE, Bd VIII, 399).

(IV) PAAL, *Berichte,* Bd XXII, 3076.

Toutes ces amines halogénées sont fort instables ; quelques-unes ne peuvent être isolées, les autres se détruisent spontanément après peu de temps.

Les amines fluorées que j'ai isolées sont au contraire des corps très stables, se conservant indéfiniment sans présenter la moindre altération (je conserve certains échantillons depuis trois ans), et qui se laissent distiller sans décomposition. Ce sont les premières bases halogénées connues que l'on peut manier et étudier à l'état libre.

Dans ce premier travail, j'ai surtout eu pour objet d'établir l'influence des atomes de fluor sur la fonction amine. Les réactions de l'angle fluoré des nouveaux corps que j'ai obtenus seront l'objet de recherches ultérieures.

Quand on chauffe pendant trois jours en vases clos, entre 125° et 145°, une molécule de bromure de difluoréthyle avec une solution alcoolique concentrée de 2 molécules d'ammoniaque, on obtient une transformation complète de l'éther haloïde. Après refroidissement, la pression est nulle dans les tubes, le liquide alcoolique est incolore et baigne d'abondants cristaux. La paroi du tube n'est pas attaquée.

La solution alcoolique possède une odeur nettement ammoniacale; si l'on y ajoute deux fois son volume d'acide chlorhydrique étendu, on ne provoque pas de séparation d'un liquide insoluble, preuve que le bromdifluoréthane a disparu totalement. L'addition d'eau ne détermine d'autre part aucun dégagement de gaz : ce fait ainsi que l'absence de pression dans les tubes démontrent qu'il ne s'est pas formé de difluoréthylène.

Les bromures sont séparés de l'alcool et des bases

libres par distillation. Pour éviter une déperdition d'amine volatile, il est nécessaire de disposer à la suite de l'appareil distillatoire un tube de Péligot renfermant une solution d'acide chlorhydrique. On distille d'abord au bain-marie, la distillation commence vers 50°; il se dégage au début un peu d'ammoniaque; le thermomètre monte peu à peu à 80°. On distille jusqu'à refus et l'on neutralise ensuite le liquide distillé par addition d'une quantité d'acide chlorhydrique équivalente à la moitié de la quantité d'ammoniaque mise en œuvre (1 molécule).

La distillation au bain-marie à la pression atmosphérique ne permet pas d'enlever aux bromures toutes les bases libres qu'ils enrobent; on achève la distillation sous pression réduite (40 millimètres), en portant à la fin la température du bain jusque 110°; on ajoute le produit distillé à la solution chlorhydrique provenant de la première phase de la distillation.

Le résidu de distillation est formé de bromures; il est très légèrement coloré et hygroscopique. On le lave à l'alcool absolu froid pour lui enlever les bromures d'ammonium substitués.

Les cristaux insolubles dans l'alcool sont formés de bromure d'ammonium presque pur; j'y ai trouvé en effet 81.13 % de brome, au lieu de 81.63 %, qu'exige le bromure d'ammonium.

Une molécule de bromdifluoréthane ne fournit pas une molécule de bromure d'ammonium; dans les nombreuses opérations que j'ai effectuées, le rendement en bromure d'ammonium fut en moyenne de 85 % de sa valeur théorique.

La solution alcoolique des bromhydrates d'amines est évaporée au bain-marie; elle laisse un résidu salin,

déliquescent. Celui-ci fut placé dans l'exsiccateur à vide sur de l'acide sulfurique jusqu'à siccité complète.

J'ai dosé le brome dans ce produit; sa teneur en brome est variable, mais toujours inférieure à 50 %. Cette irrégularité dans la composition résulte de ce que la proportion d'amine primaire renfermée dans ce bromure n'est pas constante.

Pour rechercher la présence de bromure d'ammonium quaternaire dans ce produit, j'ai distillé avec une quantité de potasse caustique équivalente à celle du brome. Le bromure, dissous dans deux fois son poids d'eau, a été traité dans un ballon distillatoire par la quantité voulue de potasse, dissoute dans son poids d'eau. Il se produit une élévation notable de température; les amines se séparent à la surface en un liquide mobile. J'ai distillé au bain-marie jusqu'à refus. La majeure partie des amines passe à la distillation entre 65° et 70°.

La distillation fut achevée en opérant sous pression réduite jusqu'à obtention d'un produit absolument sec, tout en évitant de porter la température au-dessus de 100°. J'ai épuisé ensuite le résidu de bromures alcalins d'abord par l'éther, ensuite par l'alcool absolu.

La solution alcoolique ne fournit par évaporation qu'un résidu insignifiant, d'aspect résineux : il ne se forme donc pas de bromure d'ammonium quaternaire dans l'action du bromdifluoréthane sur 2 molécules d'ammoniaque.

Les bases extraites des bromures solubles dans l'alcool sont dissoutes dans un excès d'acide chlorhydrique étendu; cette dissolution est ajoutée à la solution alcoolico-aqueuse des chlorhydrates obtenus aux dépens des amines libres. Le mélange est ensuite distillé au bain-marie jusqu'à siccité, en ayant soin d'opérer l'évapo-

ration du dissolvant à une pression très faible (30 millimètres de mercure). Cette précaution est indispensable, comme on le verra plus loin.

On reprend le résidu cristallin par cinq fois son poids d'alcool absolu bouillant et l'on filtre pour séparer le chlorure d'ammonium insoluble. On distille la solution alcoolique au bain-marie jusqu'à sec; on dessèche ensuite complètement par un séjour prolongé dans un exsiccateur à acide sulfurique. L'élimination de l'alcool doit être complète; il est en effet impossible de le séparer des bases elles-mêmes par distillation fractionnée.

On dose volumétriquement le chlore dans le mélange de chlorhydrates d'amines, que l'on décompose par la potasse caustique en léger excès.

Cette opération demande quelque précaution, si l'on veut éviter des pertes sensibles, dues à la volatilité de l'amine primaire.

On introduit le chlorhydrate dans un ballon distillatoire et l'on n'ajoute la potasse caustique que lorsque l'appareil est entièrement monté. La potasse est employée en solution à 50 %; cette dissolution ne peut être versée dans l'appareil que parfaitement froide.

L'action de KOH donne lieu à une réaction très vive; l'élévation de température est suffisante pour provoquer au début une distillation rapide des bases formées, qui se séparent à la surface de la solution aqueuse en un liquide d'aspect huileux.

Lorsque la réaction initiale est calmée, on chauffe au bain de glycérine. Le thermomètre, qui était monté d'emblée à 60°, s'élève peu à peu jusque 100°. On poursuit la distillation jusqu'à ce que le liquide huileux surnageant ait complètement disparu. L'une des amines formées a un point d'ébullition supérieur à 100°, mais

comme elle se laisse entraîner par la vapeur d'eau, le thermomètre ne dépasse pas 100°.

Le produit de distillation est formé d'un mélange d'eau et d'amines; il possède une odeur ammoniacale prononcée. On y ajoute peu à peu, en ayant soin de combattre par un refroidissement énergique toute élévation de température, son poids de potasse caustique fondue. Les amines se séparent ainsi complètement de l'eau qui les accompagne. On distille, sans décanter, au bain de glycérine.

La distillation commence vers 60° et le thermomètre se fixe entre 67° et 68°. On recueille séparément le liquide distillant de 60° à 70°. Au-dessus de 70°, le thermomètre s'élève lentement à 80°, puis plus rapidement jusque 100°. On arrête la distillation à ce moment.

Le résidu, qui renferme encore une certaine quantité d'amine, est agité avec de l'éther exempt d'alcool. On décante la solution éthérée, que l'on distille soigneusement au déphlegmateur. Après élimination de l'éther, on réunit le liquide restant au produit passant de 70° à 100° et provenant de la première distillation. On ajoute au tout deux fois son poids d'éther absolu et l'on sèche sur de la potasse fondue pendant plusieurs jours.

L'amine bouillant de 60° à 70° est également desséchée par un séjour prolongé sur de la potasse fondue, puis on rectifie au déphlegmateur de Lebel. On réalise une dessiccation parfaite en introduisant l'amine dans un petit ballon avec quelques fragments de chaux vive. Après deux jours de contact, on sépare l'amine par distillation au bain-marie.

En rectifiant, on obtient finalement un produit pur, bouillant de 67°5 à 67°8 (corrigé) sous 757 millimètres de pression.

La solution éthérée des bases moins volatiles est rectifiée à son tour; après séparation de l'éther, on y ajoute le résidu de distillation de l'amine bouillant à 67°5 et l'on achève la distillation fractionnée.

On recueille ainsi encore une certaine quantité de produit bouillant à 67°5, puis un autre corps qui passe de 123°5 à 125°. Le résidu de distillation est absolument nul. Le liquide distillant de 123°5 à 125°, soumis à des rectifications répétées, fournit une amide à point d'ébullition constant de 124°4 sous 755 millimètres (corrigé).

Il n'est pas avantageux d'extraire directement à l'éther le mélange des deux amines provenant de l'action de la potasse acquise sur leurs chlorhydrates, car il est très difficile de séparer complètement par distillation l'éther de l'amine bouillant à 67°5.

L'action de l'ammoniaque (2 molécules) sur le bromdifluoréthane donne naissance à deux amines : l'une bouillant à 67°5, l'autre à 124°4.

La première est la difluoréthylamine $C_2H_5Fl_2.NH_2$.

L'analyse élémentaire de ce corps m'a donné les résultats suivants :

0gr4644 de substance ont donné :

0gr4843 CO_2, soit 0gr1314 C ou 28.3 °/o
et 0gr2619 H_2O, soit 0gr0293 H ou 6.31 °/o.

Calculé pour $C_2H_5Fl_2NH_2$.		Trouvé.
C	28 38 °/o	28.30 °/o
H	6.20 °/o	6.31 °/o.

L'analyse du chlorhydrate (voir plus loin) a confirmé ces résultats.

0gr4277 de substance ont donné 0gr5195 AgCl,
soit 0gr12846 Cl ou 30.03 °/o.

Calculé pour $C_2H_5Fl_2NH_3Cl$. . . . . 30.11 °/o.

L'amine bouillant à 124°4 est l'amine secondaire de l'alcool bifluoré : la tétrafluordiéthylamine $C_4H_7Fl_4N$.

0gr8879 de substance ont donné :

1gr0722 CO_2, soit 0gr2924 C ou 33.18 %
et 0gr3924 H_2O, soit 0gr04383 H ou 4.93 %.

Le dosage du chlore dans le chlorhydrate, par la méthode de Volhardt, a donné :

0gr3794 de substance ont fourni 0gr3001 AgCl,
soit 0gr07421 Cl ou 19.55 %.

Calculé pour $C_4H_7Fl_4N$ ($C_4H_7Fl_4N.HCl$).		Trouvé.
C	33.18 %	33.14 %
H	4.85 %	4.93 %
Cl	19.49 %	19.55 %.

Les rendements relatifs en amines primaire et secondaire varient avec la température : la proportion d'amine secondaire est d'autant plus forte que la température à laquelle on opère est plus élevée, comme le prouvent les données suivantes de quelques opérations.

122 grammes de bromdifluoréthane à 148° ont donné :

30gr5 d'amine primaire,
18gr1 d'amine secondaire.

110 grammes de bromdifluoréthane à 145° ont donné :

18gr5 d'amine primaire,
8gr2 d'amine secondaire.

(L'opération n'avait duré que 36 heures, une partie de l'éther haloïde n'était pas transformée.)

145 grammes de bromdifluoréthane à 136° ont donné :

45 grammes d'amine primaire,

16gr5 d'amine secondaire.

200 grammes de bromdifluoréthane à 127° ont donné :

60gr3 d'amine primaire,

13 grammes d'amine secondaire (environ).

Grâce à la différence sensible dans leurs points d'ébullition, on peut séparer les deux amines par voie de distillation fractionnée, mais il est à peine besoin de faire observer que cette méthode donne lieu à des pertes sensibles.

On effectue une séparation plus simple et moins onéreuse en opérant de la manière suivante :

Le contenu des tubes est distillé au bain de glycérine jusqu'à ce que la température du bain atteigne 150°. On évite l'entraînement de l'amine primaire par l'ammoniaque, qui se dégage au début de l'opération, en plongeant le ballon récipient dans de la glace.

Le résidu de distillation est, comme précédemment, lavé à l'alcool absolu, l'extrait alcoolique évaporé à sec. Les bromhydrates d'amines sont distillés avec une dissolution saturée de potasse caustique jusqu'à élimination complète des bases : on porte la température du bain jusque 150°. On obtient ainsi les amines libres, avec un minimum d'eau. Le produit de distillation est ajouté au liquide alcoolique provenant de la première opération. On sature cette solution alcoolique par l'acide chlorhydrique gazeux et sec. Il se fait un précipité de chlorhydrates, que l'on essore à la trompe et qu'on lave à plusieurs reprises par l'alcool absolu, afin d'en séparer le chlorure d'ammonium, insoluble dans l'alcool.

Les deux solutions alcooliques sont réunies : on y ajoute deux fois leur poids d'éther. Il se produit un précipité cristallin très abondant, qu'on laisse déposer pendant quelques heures dans un vase couvert et qu'on essore ensuite à la trompe. Ce précipité est formé de chlorhydrate de difluoréthylamine presque pur. Un dosage de chlore donne 30.60 % de chlore au lieu de 30.1 % (calculé).

Le liquide filtré est refroidi à — 10°; il abandonne une nouvelle quantité de cristaux qui sont essorés. Ils sont formés par un mélange de chlorhydrates de difluoréthyl- et de tétrafluordiéthylamine, ce dernier prédominant. L'évaporation des eaux mères donne encore une certaine quantité de ce mélange, que l'on décompose par la potasse caustique; on sépare ensuite l'amine secondaire par rectification (*).

Le chlorhydrate de difluoréthylamine, précipité par l'éther, est séché dans un courant d'air sec, puis distillé avec KOH à 50 % au bain-marie. Il suffit de dessécher le produit distillé sur la potasse caustique ou le carbonate de potassium fondu et de rectifier une fois pour obtenir l'amine pure.

Voici les données d'une opération : 180 grammes de bromure de difluoréthyle sont traités par 476 centimètres cubes d'ammoniaque 5,8 normale et chauffés à 127° pendant trois jours. J'obtiens 115 grammes de bromure

---

(*) On peut retransformer l'amine secondaire en chlorhydrate et en séparer, par précipitation fractionnée de sa solution alcoolique à l'aide d'éther, le chlorhydrate d'amine primaire qu'il renferme. On arrive ainsi, par des précipitations fractionnées répétées, à obtenir l'amine secondaire tout à fait pure.

d'ammonium pur. La solution alcoolique des amines, précipitée par HCl gazeux, abandonne 14gr6 de chlorure d'ammonium. Additionnée de 1,100 centimètres cubes d'éther, elle fournit un précipité de 70 grammes de chlorhydrate, qui, traité par la potasse, donne 48 grammes de difluoréthylamine, soit le rendement théorique. Le refroidissement à — 10° de la solution éthérée précipite 29gr5 de chlorhydrate, l'évaporation du liquide filtré donne encore 12 grammes de sel. Les 41gr5 de chlorhydrate décomposés par la potasse m'ont donné 13gr5 d'amine secondaire et 11 grammes d'amine primaire.

Cette méthode permet d'obtenir très facilement l'amine primaire à l'état pur, mais il n'en est pas de même pour l'amine secondaire dont la purification est longue. Elle présente en outre l'inconvénient d'exiger l'emploi de grandes quantités de dissolvant.

Un autre procédé de séparation est basé sur les propriétés des oxalates : l'oxalate neutre de difluoréthylamine est très soluble dans l'eau, tandis que l'oxalate neutre de tétrafluordiéthylamine l'est fort peu.

La solution alcoolique d'amines, obtenue comme dans la première méthode de séparation, est traitée par HCl gazeux et sec. On sépare le chlorure d'ammonium par lavages à l'alcool, puis on évapore la solution alcoolique au bain-marie, sous la pression atmosphérique d'abord, ensuite dans le vide. Le résidu de distillation est maintenu sous l'exsiccateur pendant quelques jours; on dose volumétriquement le chlore des chlorhydrates secs. On distille ceux-ci avec un excès de potasse caustique en solution saturée; les amines recueillies sont traitées par une quantité équivalente (donnée par le dosage de chlore) d'acide oxalique en solution saturée. L'oxalate de tétra-

fluordiéthylamine précipite abondamment en cristaux aciculaires, tandis que l'oxalate de difluoréthylamine reste en solution. On essore les cristaux, on lave avec un minimum d'eau froide et l'on décompose par la potasse caustique. On obtient ainsi l'amine secondaire tout à fait pure.

Les eaux mères sont additionnées de potasse caustique solide et distillées au bain de glycérine; elles fournissent l'amine primaire et un peu d'amine secondaire. On isole l'amine primaire pure en répétant la précipitation fractionnée par l'acide oxalique. On peut aussi la transformer en chlorhydrate, que l'on purifie par précipitation fractionnée de sa solution alcoolique à l'aide d'éther. (Voir plus haut.)

J'ajouterai qu'il est impossible de neutraliser les amines par l'acide oxalique en se servant d'un indicateur comme moyen de contrôle; les amines fluorées et surtout l'amine secondaire sont des bases trop faibles pour produire un virage net, même quand on emploie le méthylorange. Il en résulte qu'il est indispensable de faire un dosage de chlore pour établir la quantité d'acide oxalique à employer, tout au moins lorsqu'il s'agit de la séparation des amines brutes. Lorsque celles-ci ont déjà été purifiées en grande partie, on peut, sans grave erreur, déterminer la quantité d'acide oxalique à mettre en œuvre, en pesant l'amine à purifier.

Les deux méthodes décrites permettent d'obtenir les amines à un degré de pureté remarquable. C'est ainsi qu'un échantillon d'amine secondaire obtenu en décomposant un chlorhydrate purifié par cristallisation fractionnée dans l'alcool éthéré avait à 16°55 une densité de 1.30412. Un second échantillon, préparé à l'aide de

l'oxalate, avait à la même température une densité de 1.30413. La concordance, à une unité de la cinquième décimale près, de ces déterminations d'une grandeur physique si sensible aux moindres traces d'impuretés, faites sur deux échantillons obtenus par des méthodes de purification différentes, constitue, me paraît-il, la meilleure preuve de leur valeur.

Lorsqu'on fait agir 1 molécule d'ammoniaque sur le bromure de difluoréthyle, dans les mêmes conditions de température et de durée que celles précédemment données, l'ammoniaque disparaît complètement. La réaction est plus lente que lorsqu'on met en œuvre 2 molécules d'ammoniaque. Le procédé d'extraction diffère un peu de celui qui a été décrit, toutes les bases étant dans ces conditions combinées à l'acide bromhydrique.

On sépare les cristaux de bromure; on dirige dans la solution alcoolique un courant d'HCl gazeux jusqu'à réaction très fortement acide.

On distille ensuite le liquide alcoolique au bain-marie. La distillation commence vers 50°. On sépare la portion passant au-dessous de 78° et l'on y ajoute trois fois son volume d'eau pour précipiter le bromdifluoréthane inaltéré.

Quand le liquide refuse de distiller au bain-marie, on continue à chauffer au bain de glycérine jusqu'à ce que la température de ce dernier atteigne 150°. Il reste un résidu cristallin peu abondant de chlorhydrate.

Les bromures séparés par filtration sont épuisés d'une manière complète par l'alcool absolu froid. Cette opération exige des quantités d'alcool assez considérables; les épuisements doivent être nombreux si l'on veut éviter des pertes sensibles.

Lorsque l'extraction des bromures est parfaite, on ajoute à la solution alcoolique le chlorhydrate provenant de l'évaporation de l'alcool acidulé et l'on élimine l'alcool par distillation au bain-marie, sous la pression atmosphérique d'abord, sous pression réduite ensuite. Après dessiccation complète, on distille avec un excès de potasse caustique (la quantité de potasse à employer est déterminée par un titrage volumétrique de l'ensemble des halogènes ionisables). Les amines brutes sont purifiées, après dessiccation sur la potasse fondue, d'abord par rectification, ensuite par l'une des méthodes que j'ai décrites plus haut.

En faisant agir 1 molécule d'ammoniaque sur 1 molécule de bromdifluoréthane, je n'ai obtenu que les amines primaire et secondaire. La rectification des amines brutes ne fournit, en effet, aucun corps à point d'ébullition supérieur à 125°; or, l'amine tertiaire devrait avoir un point d'ébullition voisin de 170°. Il ne se forme pas de bromure d'ammonium quaternaire, le traitement des bromures par la potasse caustique en quantité calculée ne laisse aucun corps soluble dans l'alcool.

Que l'on emploie donc 1 ou 2 molécules d'ammoniaque pour 1 molécule de bromure de difluoréthyle, les produits de la réaction sont les mêmes; il ne se forme que les amines primaire et secondaire. La proportion de cette dernière est beaucoup plus forte quand on ne met en œuvre que 1 molécule d'ammoniaque. C'est ainsi que dans une opération faite dans ces conditions, j'ai obtenu 81 grammes d'amine secondaire et 46 grammes d'amine primaire.

J'ajouterai qu'il peut se faire des pertes assez importantes en amine secondaire quand on distille des solu-

tions alcooliques de chlorure ou de bromure de tétrafluordiéthylammonium renfermant une proportion d'eau un peu notable. L'alcool s'éliminant le premier, il reste une dissolution de sel de plus en plus riche en eau. Or, les sels haloïdes de tétrafluordiéthylammonium sont fortement hydrolysés, et lorsqu'on porte à l'ébullition leurs solutions aqueuses, il distille une certaine quantité de base libre. C'est pour récupérer cette amine que je traite l'alcool obtenu par distillation du produit brut par l'acide chlorhydrique gazeux.

On évite en grande partie l'hydrolyse en distillant les solutions alcooliques à basse température, sous pression réduite. Il est indispensable d'opérer ainsi quand on a affaire à des dissolutions aqueuses.

La distillation dans le vide de solutions alcooliques a l'inconvénient d'entraîner des pertes notables en alcool.

Dans toutes ces recherches, j'ai fait usage d'un alcool de titre aussi élevé que possible : les dissolutions alcooliques d'ammoniaque ont été préparées en veillant à la dessiccation complète de l'ammoniaque. Toutes ces précautions ont été prises dans le but d'éviter la décomposition des sels de tétrafluordiéthylammonium.

L'attaque de l'angle fluoré du bromdifluoréthane par l'ammoniaque en solution alcoolique est négligeable. Dans une opération exécutée avec 1 molécule-gramme de bromdifluoréthane, soit 145 grammes, j'ai dosé le fluor se trouvant à l'état de fluorure dans le produit salin. J'ai obtenu $0^{gr}3675$ de fluorure de calcium, soit $0^{gr}1793$ de fluor, ce qui ne représente pas $^1/_{200}$ de la quantité de fluor contenue dans l'éther.

Lorsque la température à laquelle on fait agir l'ammoniaque alcoolique sur le bromure de difluoréthyle dépasse

150°, la réaction se complique : l'alcool y intervient. L'étude de cette réaction fera l'objet d'une prochaine communication.

La *difluoréthylamine* $CHFl_2 - CH_2 - NH_2$ est un liquide incolore, très mobile, d'une odeur ammoniacale assez prononcée, qui bout à 67°8 et ne se congèle pas à - 78°. Sa densité à 11°9 est de 1.17576. Ses indices de réfraction à la même température pour les raies H_α, H_β, H_γ sont respectivement de 1.34701, 1.3523, 1.35484. Sa réfraction moléculaire est de 14.691 pour la raie H_α. En adoptant pour réfraction atomique de l'azote la valeur 2.60, trouvée par Brühl dans les amines primaires alphatiques, pour réfraction atomique de fluor 0.941, valeur trouvée par moi pour les combinaisons fluorées dans lesquelles le fluor est uni à du carbone saturé, on trouverait pour réfraction moléculaire de la difluoréthylamine, 14.688. Cette concordance parfaite entre la valeur théorique et la valeur trouvée prouve que dans la difluoréthylamine il ne s'établit pas de liaisons, même labiles, entre le fluor et l'azote.

La difluoréthylamine est soluble dans l'eau en toutes proportions et s'y dissout avec un dégagement de chaleur assez sensible. Cette dissolution rougit la phénolphtaléine, mais la coloration rose disparaît déjà lorsqu'on ajoute une quantité d'acide sulfurique égale au $^1/_{22}$ de la quantité d'amine. Par contre, on peut titrer la difluoréthylamine par un acide fort en se servant du méthylorange comme indicateur. C'est ainsi que j'ai préparé par pesée une dissolution 0.1297 normale. Je l'ai dosée par l'acide sulfurique $^n/_{10}$ en présence du méthylorange et l'ai trouvé $0.1300n$.

La teinture de tournesol et l'acide rosolique ne donnent pas de virages nets.

On peut séparer complètement l'amine de la solution aqueuse en y ajoutant de la potasse caustique ou du carbonate de potassium.

La difluoréthylamine absorbe l'anhydride carbonique. Si l'on en introduit quelques gouttes dans une cloche à gaz remplie de CO_2, l'absorption est très rapide; les parois de la cloche se recouvrent de cristaux. Lorsqu'on veut préparer l'amine à un haut degré de pureté, il faut donc la soustraire à l'action de l'anhydride carbonique de l'air. Les échantillons d'amine qui m'ont servi à établir les constantes physiques étaient conservés sur de la chaux vive et distillés au moment de l'emploi.

Le *chlorhydrate de difluoréthylamine* $CHFl_2 - CH_2 - NH_2.HCl$ s'obtient par union directe, le mieux en solution éthérée ou alcoolique; il se forme avec dégagement de chaleur notable. Il est très soluble dans l'eau; il en cristallise en grands cristaux non déliquescents. La solution aqueuse a une réaction faiblement acide. Ce chlorhydrate est aisément soluble dans l'alcool absolu bouillant, assez peu dans ce dissolvant froid (environ 5 %). L'éther le précipite presque complètement de sa solution alcoolique.

Il fond à 183°; mais il commence à se sublimer à une température légèrement inférieure. Ce phénomène est dû probablement à une dissolution partielle.

Le *sulfate neutre de difluoréthylamine* $(C_2H_3Fl_2 - NH_3)_2 SO_4$ a été obtenu en mélangeant des quantités équivalentes d'amine et d'acide sulfurique étendu et en abandonnant la solution à l'évaporation spontanée. Il est très soluble

dans l'eau, dont il cristallise en gros cristaux tabulaires. Il se dissout facilement dans l'alcool ; il s'en sépare en lamelles : l'éther le précipite de sa solution alcoolique.

Le chloroplatinate forme de gros cristaux bruns, très solubles dans l'eau.

L'*oxalate neutre* $(C_2H_3Fl_2 - NH_3)_2C_2O_4$ forme de grands cristaux très solubles.

La difluoréthylamine ne réduit pas le nitrate d'argent ammoniacal en présence de la soude caustique.

Les vapeurs de difluoréthylamine, chauffées au rouge dans un tube de verre, se décomposent ; il se forme notamment de l'acide prussique. Cette réaction sera étudiée ultérieurement avec plus de détails.

La difluoréthylamine est une amine primaire. Elle se décompose en présence de l'acide nitreux en donnant de l'azote et de l'alcool bifluoré.

Elle réagit avec violence sur le chloroforme en présence de la potasse alcoolique : il se produit une carbylamine.

J'ai fait agir la difluoréthylamine sur le chlorocarbonate d'éthyle.

J'ai dissous l'amine dans son poids d'eau ; dans cette dissolution, refroidie à 0°, j'ai fait couler goutte à goutte, en ayant soin d'agiter continuellement une quantité équivalente de chlorocarbonate d'éthyle. La réaction s'accompagne d'un dégagement de chaleur notable ; aussi, pour éviter des pertes en amine, doit-on ajouter très prudemment l'éther chlorocarbonique.

Il se produit un précipité blanc, cristallin, d'uréthane bifluoré, et le chlorocarbonate d'éthyle est intégralement transformé. J'ai laissé déposer quelques heures et j'ai enlevé l'uréthane fluoré par une extraction complète à

l'éther (*). La dissolution éthérée a été distillée au bain-marie. Le résidu de distillation, liquide à chaud, se prend par refroidissement en grandes lamelles cristallines qui se laissent distiller sans décomposition à la pression atmosphérique.

Le thermomètre s'élève d'emblée à 184° et se maintient jusqu'à la fin de la distillation à 185°5. Le résidu de distillation est nul.

Le produit obtenu est le difluoréthyluréthane $CHFl_2 - CH_2 - NH - CO_2 - C_2H_5$, comme le prouve un dosage d'azote.

0gr4231 de substance ont donné 32cc2 d'azote à 17° et sous 756 millimètres de pression, soit 0gr03772 d'azote ou 8.91 °/₀.

Calculé pour $C_5H_9Fl_2O_2N$.	Trouvé.
9.14 °/₀	8.91 °/₀.

Le rendement est excellent : 48 grammes de difluoréthylamine donnent 42 grammes de produit pur. Le rendement théorique est de 44gr3.

On peut aussi préparer le difluoréthyluréthane en mélangeant prudemment, tout en ayant soin de refroidir, des solutions équivalentes dans l'éther absolu de difluoréthylamine et de chlorocarbonate d'éthyle.

Le chlorhydrate de difluoréthylamine formé précipite, l'uréthane reste en solution. On filtre la solution éthérée et l'on distille l'éther au bain-marie. L'uréthane brut renferme encore une petite quantité de chlorhydrate de

(*) L'évaporation de la solution aqueuse permet de récupérer, sous forme de chlorhydrate, la moitié de l'amine mise en œuvre.

difluoréthylamine. On le reprend par quatre fois son poids de chloroforme. Après un jour de repos, le sel d'ammonium a complètement précipité. On le sépare par filtration, et après avoir distillé le chloroforme au bain-marie, on rectifie l'uréthane brut. Le rendement est presque théorique.

Le difluoréthyluréthane est solide, incolore, insoluble dans l'eau, très soluble dans l'alcool et l'éther, moins soluble dans l'éther de pétrole, dont il cristallise en belles paillettes blanches et légères, fondant à 37°6.

Il ne réduit pas le nitrate d'argent ammoniacal; cette réduction est immédiate quand on opère en présence de soude caustique.

J'ai transformé la difluoréthyluréthane en difluoréthylnitramine par la méthode qui a conduit Franchimont à la découverte des nitramines (*).

J'ai laissé tomber par petites portions le difluoréthyluréthane dans de l'acide nitrique pur de Valentiner, dont j'ai employé une quantité égale à cinq fois le poids d'uréthane. Il est nécessaire de refroidir l'acide nitrique par immersion dans l'eau glacée si l'on veut éviter la production de vapeurs rouges et des réactions secondaires.

Après introduction de tout l'uréthane, j'ai laissé reposer quelques heures, puis j'ai versé lentement la solution acide dans deux fois son poids d'eau.

Le nitrodifluoréthyluréthane s'est précipité sous forme d'une huile plus dense que la solution acide. Je ne l'ai

---

(*) *Recueil des travaux chimiques des Pays-Bas*, t. VI, p. 149.

pas isolé, l'opération ayant pour but l'obtention de la nitramine.

J'ai neutralisé presque complètement la solution acide en y ajoutant avec précaution du carbonate de sodium, puis j'ai agité avec de l'éther pour extraire le nitro-fluoruréthane.

La solution éthérée est desséchée sur du chlorure de calcium, puis soumise à l'action du gaz ammoniac sec, equel décompose le nitro-uréthane en uréthane et dérivé ammoniacal de la difluornitramine $CHFl_2\text{-}CH_2\text{-}N < \begin{matrix} NH_4 \\ NO_2 \end{matrix}$. Lorsque la solution éthérée n'est pas desséchée au préalable par un séjour suffisant sur $CaCl_2$, le sel d'ammonium de la difluoréthylnitramine, très soluble dans l'eau, enlève celle-ci à la solution éthérée : il se sépare une solution aqueuse très concentrée, dont la purification est malaisée. Lorsque, au contraire, on dessèche la solution, le gaz ammoniac y produit un précipité solide, floconneux, très volumineux. La masse devient pâteuse au point que l'ammoniaque n'y barbote plus que difficilement. On poursuit le traitement par NH_3 jusqu'à refus et on laisse déposer quelques heures. Le sel ammoniacal prend une structure cristalline, se réduit énormément de volume et adhère très fortement au verre. On le sépare par essorage et on le lave à l'éther pour lui enlever l'uréthane. On sèche ensuite dans un courant d'air sec.

Le rendement est bon : 44 grammes de difluoréthyluréthane m'ont donné $33^{gr}5$ de nitramine ammoniacale brute, soit 86 °/₀ du rendement théorique.

Franchimont isole la nitramine en faisant bouillir dans un appareil à reflux la solution alcoolique de son dérivé ammoniacal. Ce dernier se dissocie en nitramine et

ammoniaque qui s'échappe. J'ai opéré de même. Mais tandis que les nitramines ammoniacales obtenues par le savant hollandais étaient complètement décomposées après un jour d'ébullition de leur solution alcoolique, j'ai observé que la nitramine fluorée ne se formait que très imparfaitement par le dédoublement de son sel ammoniacal. Après septante-six heures d'ébullition, il se dégage encore de l'ammoniaque.

J'ai essayé d'achever le dédoublement en distillant la solution alcoolique dans le vide, ajoutant de l'alcool à mesure que celui-ci distillait. Après deux jours de ce traitement, l'odeur ammoniacale avait disparu. En évaporant alors au bain-marie, sous pression réduite, jusqu'à refus, j'ai obtenu un résidu jaune, liquide, dans lequel nageaient des cristaux de sel ammoniacal non décomposé. J'ai redissous dans l'alcool et repris les distillations dans le vide, mais sans parvenir à réaliser une décomposition complète du sel d'ammonium.

Pour en débarrasser la nitramine, j'ai évaporé la solution alcoolique et j'ai repris la nitramine impure par cinq fois son poids d'éther absolu, ce qui amena la précipitation complète du sel d'ammonium non décomposé. La solution filtrée fut évaporée au bain-marie. J'obtins ainsi un liquide jaune, ne se solidifiant pas à — 10° et que j'ai distillé sous 12 millimètres de pression, au bain-marie d'abord. J'ai enlevé ainsi un peu d'alcool. Poursuivant la distillation au bain de glycérine, on parvient à distiller entre 111° et 112° la presque totalité du liquide. Le résidu est négligeable. Le produit distillé est un liquide incolore et inodore. (Rendement : 17 grammes aux dépens de 30 grammes de sel ammoniacal.)

La difluoréthylnitramine $CHFl_2\text{-}CH_2\text{-}N < {H \atop NO_2}$ reste

facilement en infusion; j'ai obtenu sa cristallisation en masse en la refroidissant à — 20°. Ce produit fondait à 19°6. Par une série de cristallisations partielles suivies de décantation, j'ai vu le point de fusion s'élever jusqu'à 22°4 et rester ensuite constant quand le produit fut soumis à de nouvelles purifications. Cette méthode de purification fournit un produit absolument pur, mais est assez onéreuse.

La difluoréthylnitramine forme de gros cristaux assez durs, non déliquescents. Elle est relativement soluble dans l'eau; cette dissolution a une réaction fortement acide et décompose facilement les carbonates.

J'ai identifié la difluornitramine par l'analyse de son sel de sodium.

0gr3050 de substance m'ont donné 0gr1464 Na_2SO_4,
soit 0gr04748 Na ou 15.57 °/₀.

Calculé pour $NaN_2O_2C_2H_3Fl_2$ . . . . . 15.55 °/₀.

La difluoréthylnitramine brûle avec une flamme brillante en dégageant de l'acide fluorhydrique. Un cristal tombant dans une capsule de platine rougie ne détone pas, il prend l'état sphéroïdal et brûle vivement.

Quand on surchauffe la difluornitramine dans un petit tube à essai, elle se décompose assez violemment, sans détoner cependant; parmi les produits de destruction, j'ai reconnu l'acide fluorhydrique, l'acide prussique et l'anhydride carbonique; cette décomposition sera étudiée plus complètement par la suite. Le choc du marteau ne fait pas détoner la difluoréthylnitramine.

J'ai préparé le dérivé sodique de cette nitramine en dissolvant celle-ci dans un léger excès de soude caustique

pure. La réaction s'accompagne d'un dégagement de chaleur qu'il faut combattre, sinon l'angle fluoré de la molécule est attaqué et il se forme un corps liquide insoluble dans l'eau et qui possède l'odeur des carbylamines. L'addition de la nitramine à la solution alcaline doit donc se faire avec précaution et la soude caustique employée en solution doit être étendue.

Je traite ensuite par un courant d'anhydride carbonique pour transformer la soude en excès et j'évapore dans le vide jusqu'à siccité, à une température ne dépassant pas 30°. Le résidu est repris par l'alcool absolu, qui dissout la nitramine sodée. On sépare ainsi le carbonate de sodium. La dissolution alcoolique, évaporée à son tour, ne cristallise que quand l'évaporation est à peu près complète.

L'addition à la solution alcoolique de cinq fois son volume d'éther ne précipite pas la nitramine sodée. Celle-ci est également soluble dans l'acétone et l'acétate d'éthyle; elle est insoluble dans l'éther.

Lorsqu'on ajoute à la dissolution de nitramine sodée dans l'acétate d'éthyle deux fois son volume d'éther absolu, il se fait une cristallisation en longues aiguilles soyeuses.

La nitramine sodée est extrêmement déliquescente. Si on veut l'obtenir à l'état cristallin en précipitant sa solution dans l'acétate d'éthyle par l'éther, il est indispensable que ces deux dissolvants soient anhydres, sinon il se sépare une solution aqueuse très concentrée qui ne cristallise pas.

Le dosage de sodium donné plus haut a été effectué sur un échantillon de nitramine sodée, purifié comme je viens de l'indiquer.

Le sel de sodium de la difluoréthylnitramine est plus sensible que l'amine elle-même ; quand on le chauffe, il déflagre avec violence en laissant un résidu de fluorure de sodium.

Le sel d'ammonium est beaucoup plus stable que celui des nitramines isolées par Franchimont. Il cristallise en aiguilles de sa solution alcoolique évaporée à froid. Ces cristaux fondent à 91° et se décomposent sans explosion à une température légèrement supérieure (*).

Tétrafluordiéthylamine $\begin{matrix} CHFl_2 - CH_2 \\ CHFl_2 - CH_2 \end{matrix} > NH.$

C'est un liquide incolore et mobile ayant une odeur rappelant à la fois celle de l'acétamide et de l'acétal monochloré, qui bout à 124°6. Sa densité à 14°6 est de 1.30425, à 16°5 de 1.30412. Deux déterminations de densité de vapeur, faites à 100°, ont donné les résultats suivants :

Poids de substance.	Température.	Volume en centimètres cubes	Pression en millimètres de Hg.	Densité	Poids moléculaire déduit.
0gr1205	100°	90.6	213.2	5 017	144.38
0gr1325	100°	93.25	224	5.022	144.53

(*) Les sels de la difluoréthylnitramine ne précipitent pas par le nitrate d'argent, ce qui les différencie des sels de l'éthylnitramine. (Franchimont, *Recueil des travaux chimiques*, t. XIII, p. 321.)

Le premier échantillon avait été préparé du chlorhydrate, le second de l'oxalate. Le poids moléculaire théorique est 144.30.

La tétradifluoréthylamine est assez peu soluble dans l'eau; à 22°2, une partie d'amine exige 11.34 % parties d'eau pour se dissoudre. La solubilité diminue lorsque la température augmente, mais cette variation est assez faible. Une solution saturée se troublant lorsque la température s'élève, la détermination de la solubilité est assez facile. L'addition de soude caustique sépare complètement l'amine.

Les indices de réfraction de la tétrafluordiéthylamine sont, à 16°5, pour les raies Hα, Hβ, Hγ, de 1.34904, 1.35387 et 1.35664.

La tétrafluordiéthylamine réduit assez rapidement le nitrate d'argent ammoniacal en présence de la soude caustique et à chaud.

C'est une base des plus faibles; sa dissolution aqueuse est sans action sur les indicateurs; il est impossible de la titrer volumétriquement. Ses sels sont fortement hydrolysés et présentent en solution aqueuse une réaction acide très prononcée. J'en ai préparé le chlorhydrate, le sulfate neutre et l'oxalate.

J'ai indiqué plus haut le mode d'obtention du premier. Ce chlorhydrate est très soluble dans l'eau, mais non déliquescent; il est également fort soluble dans l'alcool, dont il cristallise en longues aiguilles. Il fond à 171°, mais commence déjà à sublimer vers 150°.

Sa solution aqueuse, fortement hydrolysée, se décompose partiellement quand on la porte à l'ébullition et l'amine libre distille. Cette décomposition est assez importante, comme le prouve notamment l'expérience

suivante : J'ai dissous 3 grammes de chlorhydrate dans 30 centimètres cubes d'eau ; j'ai distillé $16^{cc}4$ de liquide à la pression atmosphérique ; les $14^{cc}6$ restants furent placés sous l'exsiccateur jusqu'à poids constant ; ils fournirent $2^{gr}21$ de chlorhydrate ; la décomposition avait donc porté sur 26.3 % du sel. On peut éviter cette décomposition et distiller les solutions de chlorhydrate à la pression atmosphérique en y ajoutant un grand excès d'acide chlorhydrique. C'est en raison de cette hydrolyse profonde qu'il faut éviter l'emploi de liquides aqueux dans les opérations portant sur le mélange des chlorhydrates bruts, quand on extrait les amines. Si l'on ne peut faire autrement, il faut distiller sous pression réduite.

Le *sulfate neutre de tétrafluordiéthylamine* $[(C_2H_5Fl_2)_2NH]_2SO_4$ a été préparé en ajoutant à un poids connu d'amine pure un volume équivalent d'acide sulfurique titré et en abandonnant la solution à l'évaporation spontanée. Ce sel cristallise en gros prismes, assez fortement solubles dans l'eau, moins solubles dans l'alcool.

L'oxalate neutre, préparé de la même manière, est fort peu soluble dans l'eau froide, qui en dissout 7 %. Ces cristaux sont complètement insolubles dans l'alcool. Leur dissolution se décompose plus facilement encore que celle du chlorhydrate, l'acide oxalique étant moins ionisé que l'acide chlorhydrique. J'ai dissous $12^{gr}7$ de tétrafluordiéthylamine dans $87^{cc}7$, soit la quantité équivalente d'acide oxalique normal. J'ai distillé 60 centimètres cubes d'eau et recueilli $5^{gr}8$ d'amine, soit 45.6 % de l'amine, dans le liquide distillé.

La tétrafluordiéthylamine est bien une amine secondaire, car elle se laisse transformer en un dérivé nitrosé par l'action de l'acide nitreux.

J'ai dissous 18 grammes d'amine dans 40 centimètres cubes d'eau et 5 centimètres cubes d'acide sulfurique concentré. Dans la solution, refroidie à 0°, j'ai laissé couler peu à peu, à l'aide d'un entonnoir à robinet, une dissolution de 12 grammes de nitrite de sodium à 95 °/₀ dans 50 centimètres cubes d'eau, en réglant le débit de l'entonnoir de manière que la température ne s'élevât pas au-dessus de + 5°. Il ne se produit de dégagement de vapeurs rouges que quand toute l'amine est transformée; la nitrosamine précipite en un liquide huileux et jaunâtre.

Lorsque la réaction fut terminée, j'ai distillé rapidement le contenu du ballon. La nitrosamine se laisse très facilement entraîner par la vapeur d'eau; son entraînement est complet quand la moitié du liquide a passé à la distillation. Elle se sépare en gouttelettes huileuses plus denses que l'eau (rendement 25 grammes), que j'ai séchées sur du chlorure de calcium et rectifiées à la pression atmosphérique dans l'appareil de Lebel. La distillation commence à 175°, le thermomètre se fixe à 178°5 et le liquide distille jusqu'à la dernière goutte sans présenter de traces de décomposition. En rectifiant une deuxième fois, j'ai obtenu 19 grammes de produit pur, distillant à 178°6 sous 755 millimètres de pression (corrigé).

0gr5231 de substance m'ont donné 69cc2 d'azote à 13° et sous 765 millimètres de pression, soit 0gr08317 d'azote ou 15.90 °/₀.

Calculé pour $(C_2H_3Fl_2)_2N\text{-}NO$ . . . . . 16.1 °/₀.

La nitrosotétrafluordiéthylamine est un liquide d'un jaune pâle, d'une densité de 1.4490 à 16°5.

Elle ne s'altère pas au contact des acides forts, étendus et froids, mais à l'ébullition elle se transforme lentement en amine secondaire.

Chauffée avec une dissolution concentrée de soude caustique, elle se décompose lentement; il se produit un corps volatil possédant l'odeur infecte des carbylamines. Je reviendrai sur cette réaction dans un autre travail.

La tétrafluordiéthylnitrosamine, chauffée très fortement dans un tube de verre, se décompose sans explosion; l'acide prussique est l'un des produits de décomposition.

Le but principal de ces premières recherches sur les amines fluorées était de déterminer l'influence que l'introduction du fluor dans le radical alcoolique a sur la fonction amine. Les propriétés essentielles des amines ne sont pas modifiées : la difluoréthylamine se comporte absolument comme une amine primaire, la tétrafluordiéthylamine comme une amine secondaire. Seulement le caractère basique de ces corps est singulièrement déprimé, comme le prouve l'hydrolyse de leurs sels; ce fait est très marqué pour la tétrafluordiéthylamine.

Mais c'est surtout la détermination de la conductibilité électrique des amines et de leurs chlorhydrates qui nous fournit à cet égard des renseignements précis.

Dans les mesures dont je donnerai les résultats, les poids moléculaires des corps mis en œuvre et le titre des solutions sont établis en fonction du poids atomique de l'hydrogène (oxygène = 15.87). Il en est par conséquent ainsi également des conductibilités moléculaires et des vitesses de transport des ions. Toutes les mesures ont été faites à 25°.

Difluoréthylamine.

Hydroxyde de difluoréthylammonium $CHFl_2$-CH_2-NH_3-OH.

Les dissolutions de ce corps absorbent l'anhydride carbonique de l'air; aussi leur conductibilité croît-elle très rapidement quand on effectue les mesures de résistance dans des vases ouverts (vase d'Arrhénius). Cet accroissement est tellement rapide qu'il rend toute mesure rigoureuse impossible.

Les électrodes doivent être polies : les électrodes platinées provoquent une décomposition de l'amine, qui augmente sa conductibilité. C'est ainsi qu'une solution $^n/_4$, dont la résistance était de 566 ohms au début de l'expérience, n'a plus, après une demi-heure, qu'une résistance de 504 ohms.

L'hydroxyde de difluoréthylammonium étant une base très faible, sa conductibilité est médiocre; la conductibilité de l'eau devait donc influencer les mesures dans une proportion sensible. Aussi ai-je dû apporter des soins particuliers à la purification de l'eau : celle-ci a toujours été distillée quelques heures avant l'emploi. Sa conductibilité propre était en moyenne de 2×10^{-7}.

Les mesures n'ont pas été poussées au delà de la dilution à 128 litres, la conductibilité de l'eau ayant à partir de cette dilution une influence trop sensible. Voici les résultats obtenus; ils donnent la moyenne de quatre séries de mesures :

V (exprimé en litres)	μ
4	0.287
8	0.401
16	0.556
32	0.778
64	1.15
128	1.59

Chlorure de difluoréthylammonium.

La conductibilité aux dilutions comprises entre 32 et 1024 litres a été déterminée en me servant d'électrodes polies, les électrodes platinées provoquant, quoique à un moindre degré que pour l'hydroxyde, une augmentation continue de la conductibilité. Les solutions ont une résistance assez faible, tout au moins aux premières dilutions. Or, quand on emploie des électrodes polies, le téléphone ne donne un minimum net que pour des résistances assez fortes. J'ai donc intercalé une résistance supplémentaire de 500 ohms, dont il a été tenu compte dans le calcul des conductibilités spécifiques.

V	μ
32.32	105.5
64.64	109.3
129.28	114.2
258.56	117.7
517.12	120.6
1032.24	123.5

Ces données prouvent qu'il y a une légère hydrolyse, la différence entre les conductibilités des solutions $^n/_{32}$ et $^n/_{1032}$ étant de 18, au lieu de 10 à 12.

Pour déterminer la conductibilité du sel non hydrolysé, j'ai repris les mesures en me servant comme dissolvant d'une solution $^n/_{40}$ d'amine (conductibilité spécifique : 0.0348).

J'ai trouvé ainsi pour conductibilité du chlorure,

déduction faite de la conductibilité du dissolvant multipliée par la dilution, les valeurs suivantes

V	μ
32	103
64	107.6
128	110.2
256	112.6
512	113.5
1024	113.6

L'hydrolyse est donc très peu importante; on sait que le coefficient d'hydrolyse x est donné par la formule

$$x = \frac{\mu_1 - \mu_2}{\mu_{HCl} - \mu_2},$$

μ_1 étant la conductibilité du sel hydrolysé, μ_2 celle du sel non hydrolysé, μ_{HCl} celle de l'acide chlorhydrique. Comme on peut admettre que celui-ci est complètement ionisé, $\mu_{HCl} = 408.4$.

A la dilution de 1024 litres, $x = 0.036$; 3 % environ du sel sont donc hydrolysés; à la concentration de 32 litres, l'hydrolyse n'atteint pas 4 ‰.

De la conductibilité du sel non hydrolysé, nous déduisons la vitesse de transport de l'ion $(C_2H_3Fl_2)NH_3$. La conductibilité limite μ_∞ du chlorhydrate est de $113.6 + 2.5 = 116.1$. En retranchant de cette valeur la vitesse de transport de l'ion Cl, qui est égale à 64.9, nous trouvons pour vitesse de transport de l'ion $(C_2H_3Fl_2)NH_3$, 51.2. La conductibilité limite de la base est donc $51.2 + 194 = 245.2$ (194 étant la vitesse de transport de l'ion OH').

Le coefficient d'ionisation m et la constante de disso-

ciation électrolytique k de l'hydroxyde de difluoréthylammonium sont de :

V	$m = \frac{\mu_0}{\mu_\infty}$	k
4	0.00118	0.0000347×10^{-2}
8	0.00164	0.0000338×10^{-2}
16	0.00228	0.0000331×10^{-2}
32	0 00318	0.0000316×10^{-2}
64	0 00417	0.0000344×10^{-2}
128	0.00647	0.0000327×10^{-2}
	Moyenne	0.0000334×10^{-2}

La constante $K = 100k$ est soixante-neuf fois plus petite que celle de l'ammoniaque, mille six cent soixante-dix fois plus faible que celle de l'éthylamine (0.056).

Le remplacement de 2 atomes d'hydrogène par le fluor dans le radical C_2H_5 a donc une influence énorme sur le caractère basique de l'amine. Tandis que les amines primaires sont des bases beaucoup plus puissantes que l'ammoniaque, les radicaux hydrocarbonés exaltant le caractère positif de l'ammonium, la difluoréthylamine est une base beaucoup plus faible. Le caractère négatif du groupement $-CH_2.CHFl_2$, que j'avais établi dans mon travail sur l'alcool bifluoré, est ainsi confirmé.

L'influence du fluor sur le caractère basique des amines est naturellement encore plus marquée dans l'hydroxyde de tétrafluordiéthylammonium.

Cette base a une conductibilité électrique presque nulle. Je l'ai déterminée en solution $^n/_4$, $^n/_8$ et $^n/_{16}$. Au-dessus de cette dernière dilution, la conductibilité propre de l'eau constitue déjà un facteur tellement important que toute mesure de quelque exactitude devient presque impossible.

Voici les résultats obtenus :

V	μ
4	0.043
8	0.069
16	0.121

La conductibilité du chlorhydrate accuse une hydrolyse importante, la différence entre la conductibilité à la concentration $^{n}/_{1024}$ et $^{n}/_{32}$ étant de 74.3.

V	μ
32	108.6
64	119
128	130.1
256	143 1
512	161.4
1024	182.9

La conductibilité du sel non hydrolysé a été déterminée comme dissolvant une dissolution d'amine de concentration suffisante pour empêcher l'hydrolyse. J'ai trouvé, déduction faite de la conductibilité du dissolvant, les valeurs suivantes :

V	μ
32	92 1
64	96.7
128	99.7
256	100.8
512	102.5
1024	103.5

La conductibilité limite est donc de 105; l'ion positif $(C_2H_3Fl_2).NH_2$ a donc, à 25°, une vitesse de transport de 41, soit de 10 unités inférieure à celle de l'ion $(C_2H_3Fl_2).NH_3$. Cette différence est la même que celle que Bredig a observée entre les vitesses de transport des

ions $NH_3C_2H_5$ et $NH_2(C_2H_5)_2$, lesquelles sont de 58.8 et 47.5.

Le coefficient d'hydrolyse du chlorure de tétrafluordiéthylammonium aux différentes concentrations est de :

V	x
32	0.05212
64	0.07152
128	0.0958
256	0.1379
512	0.1892
1024	0.2599

On sait, d'autre part, que l'expression

$$\frac{1-x}{x^2} \times V$$

est une grandeur constante; multipliée par 55.5, elle représente le rapport entre la constante de dissociation de la base et celle de l'eau. La valeur aux différentes concentrations est de

V	$\frac{(1-x)V}{x^2}$
32	1.161×10^4
64	1.162×10^4
128	1.216×10^4
256	1.161×10^4
512	1.141×10^4
1024	1.121×10^4
Moyenne	1.166×10^4

Nous avons donc :

$$\frac{k_{\text{base}}}{k_{H_2O}} = 1.166 \times 10^4 \times 55.5.$$

Or k_{H_2O} est égale à 2.29×10^{-16}.

Il en résulte que

$$k_{base} = 1.505 \times 10^{-10}$$

ou

$$K = 100k = 1.505 \times 10^{-8}.$$

La constante de dissociation de l'hydroxyde de tétrafluordiéthylammonium est donc extrêmement petite. Si nous la comparons à celle de la base primaire, nous voyons qu'elle est environ deux mille fois plus faible.

Je ferai observer que l'influence des atomes de fluor sur le caractère basique des éthylamines fluorées est beaucoup plus prononcée que celle que j'ai observée jadis dans la trifluortoluidine. Cette différence s'explique aisément par un voisinage beaucoup plus immédiat des atomes de fluor et de l'azote dans les éthylamines fluorées.

Si les éthylamines fluorées sont des bases beaucoup plus faibles que les amines non substituées, la difluoréthylnitramine a par contre une fonction acide bien plus prononcée que l'éthylnitramine. La différence de stabilité de leurs dérivés ammoniacaux le prouve déjà ; la détermination de la constante d'ionisation de la nitramine fluorée le démontre d'une manière péremptoire.

La conductibilité des solutions de difluoréthylnitramine est de :

V	μ
8.29	3.99
16.58	5.71
33.16	8.04
66.32	11.26
132.64	15.87
265.28	22.36
530.56	31.48
1061.12	44.3

La conductibilité du sel de sodium, d'autre part, a été trouvée égale à

V	μ
33.16	77.2
66.32	79 7
132.64	82.3
265.28	84.3
530.56	86.3
1061.12	88.6

La différence entre μ_{1024} et μ_{32} est de 11.4, c'est-à-dire normale ; ce sel n'est donc pas hydrolysé d'une manière sensible.

La conductibilité limite est de 91.1. En en retranchant 50.5, vitesse de transport de l'ion Na, nous obtenons pour vitesse de l'ion $C_2H_3Fl_2N_2O_2$, 40.6, ce qui nous donne 382.6 pour conductibilité limite de la difluoréthylnitramine.

Le coefficient d'ionisation *m* et la constante d'ionisation déduits sont :

V	*m*	K = 100*k*
8.29	0.0104	0.00132
16.58	0.0149	0.00136
33.16	0.0210	0.00136
66.32	0.0296	0.00136
132.64	0.0415	0.00135
265 28	0.0684	0.00137
530.56	0.0817	0.00136
1061.12	0.116	0.00143
	Moyenne	0.0136

La difluoréthylnitramine se comporte donc comme un acide assez fort; sa dissociation électrolytique est de

même ordre que celle des acides gras inférieurs ($k = 0.0013$ pour l'acide butyrique).

La constante de dissociation électrolytique de l'éthylnitramine ne m'est pas connue, mais Hantzch (*) a déterminé celle de la méthylnitramine: elle est de 0.00007. L'éthylnitramine doit avoir une constante d'affinité très voisine, car la méthylamine et l'éthylamine ont sensiblement la même constante (0.05 et 0.056) d'après Bredig (**).

La substitution de 2 atomes d'hydrogène par le fluor augmente par conséquent la valeur de k dans le rapport de 20 à 1.

L'exaltation du caractère acide par la substitution du fluor à l'hydrogène est beaucoup moins prononcée que la dépression du caractère basique. J'avais déjà observé un fait analogue pour la trifluortoluidine et l'acide trifluortoluique (***).

La proximité des atomes de fluor de l'hydrogène basique a aussi une influence notable. L'acide difluoracétique, dans lequel l'hydrogène basique et les deux atomes de fluor sont beaucoup plus voisins qu'ils ne le sont dans la difluoréthylnitramine, a une constante d'ionisation trois mille deux cents fois plus grande que celle de l'acide acétique. Leur influence sur la valeur de cette constante est donc quatre-vingts fois plus grande que dans l'éthylnitramine.

La difluoréthylnitramine a un coefficient thermique

(*) *Berichte,* Bd XXXII, 3079.

(**) Bredig, *Zeitschr. für physik. Chemie,* Bd XIII, 191.

(***) *Sur quelques dérivés fluorés du toluol* (Bull. de l'Acad. roy. de Belgique).

d'ionisation très élevé. A 0°, la conductibilité d'une solution $^{v}/_{55\,16}$ n'est que de 3.76, tandis qu'elle est de 7.76 à 25°. L'augmentation de conductibilité quand on passe de 0° à 25° est de 100 %. L'éthylnitramine bifluorée se comporte donc à cet égard comme les nitramines étudiées par Baur (*).

Pour terminer cette première communication, je ferai remarquer quelques particularités des points d'ébullition des substances que j'ai obtenues. L'alcool bifluoré, le bromure et l'iodure de difluoréthyle, l'acide difluoracétique, l'éther éthyldifluoréthylique ont des points d'ébullition supérieurs de 18° environ à ceux des composés hydrogénés correspondants.

Cette régularité ne se retrouve plus pour les amines difluoréthylées.

La difluoréthylamine bout à 67°8, l'éthylamine à 19°. La différence est de 48°8.

La tétrafluordiéthylamine bout à 124°5, la diéthylamine à 55°5. La différence est de 69°.

Il n'y a donc pas même de régularité dans la variation du point d'ébullition provoquée par le remplacement du fluor par l'hydrogène. Enfin, pour les nitrosamines secondaires, la différence n'est plus que de 1°6. La nitrosodiéthylamine bout, en effet, à 177°, la tétrafluordiéthylnitrosamine à 178°6.

Gand, le 1er mai 1904.
Laboratoire de chimie générale.

(*) Baur, *Bestimmung der Affinitätsgrosse einiger Stickstoffsäuren* (Zeitschr. für physik. Chem., Bd XXIII, 409)

Le faisceau musculaire interauriculo-ventriculaire, lien physiologique entre les oreillettes et les ventricules du cœur (Communication préliminaire); par Max Humblet.

Il est facile de constater sur des coupes sériées que la musculature des oreillettes du cœur du chien est entièrement séparée par du tissu conjonctif de celle des ventricules, sur tout le pourtour du sillon auriculo-ventriculaire. La même méthode m'a montré que la musculature des oreillettes se continue avec celle des ventricules au niveau de la cloison interauriculo-ventriculaire. Elle permet de suivre un faisceau musculaire qui naît dans la cloison interauriculaire, sous le trou de Botal, qui se dirige d'abord en bas, puis en avant (1), dans l'épaisseur de cette même cloison, et qui, arrivé à une petite distance du sinus de Theile, s'infléchit vers le bas et se bifurque pour pénétrer dans la cloison interventriculaire et se continuer à droite et à gauche dans la musculature des deux ventricules.

Ce faisceau interauriculo-ventriculaire constitue le lien physiologique qui assure la communauté ou plutôt l'alternance du rythme des oreillettes et des ventricules. Sa section produit immédiatement l'*allorythmie*, c'est-à-dire que les oreillettes et les ventricules battent à présent avec un rythme différent, comme on peut le constater par l'inspection directe, et mieux encore par l'enregistrement simultané des pulsations auriculaires et

(1) *Haut* et *bas*, etc., par rapport à l'axe du cœur supposé vertical.

ventriculaires (1). C'est la seule lésion du cœur qui produise l'*allorythmie*. Ce résultat expérimental est en parfait accord avec la *théorie myogène*. Dans cette théorie, la pulsation cardiaque doit être assimilée à une onde de contraction qui débute automatiquement dans les oreillettes, et se propage aux ventricules par continuité musculaire.

(Travail de l'Institut de physiologie
de l'Université de Liége.)

—

Contribution à l'étude du chlorure de cobalt (2) ; par M. Oechsner de Coninck, professeur à l'Université de Montpellier.

Le chlorure de cobalt hexahydraté se dissout assez facilement dans le glycol ; j'ai mesuré cette solubilité ; à + 16°4, le glycol dissout 10.6 % du chlorure $CoCl^2 + 6H^2O$.

La solution dans le glycol anhydre est d'un très beau violet pourpre ; il suffit de la chauffer pour qu'elle passe d'abord au violet franc, puis au bleu foncé.

J'ai placé quelques centimètres cubes de cette solution dans un appareil distillatoire en communication avec une trompe à eau. Le ballon a été placé dans un bain d'huile, et j'ai chauffé jusque vers + 115°, tout en abaissant la pression intérieure à quelques millimètres. Dans ces

(1) La facilité déplorable avec laquelle les pulsations cardiaques dégénèrent en trémulations irrégulières (fibrillation ou délire du cœur), à la moindre incision de leurs parois, rend ces expériences fort laborieuses. On est exposé à sacrifier toute une série d'animaux, avant d'en rencontrer un dont le cœur supporte victorieusement l'opération.

(2) Recherches faites à l'Institut de chimie de l'Université.

conditions, le glycol a distillé, entraînant l'eau de cristallisation du sel; le résidu était formé par du chlorure de cobalt anhydre, bleu clair. Dans une autre expérience, j'ai chauffé vers 105°, sous une pression un peu plus forte, et j'ai constaté que le ballon renfermait un mélange du chlorure anhydre et du chlorure dihydraté $CoCl^2 + 2H^2O$.

Abandonné à l'air, le chlorure de cobalt anhydre attire, moins rapidement que cela n'est indiqué, l'humidité nécessaire pour former l'hexahydrate. En effet, cette hydratation est progressive, et, après quelques tâtonnements, j'ai pu saisir le moment où le *tétrahydrate*, $CoCl^2 + 4H^2O$, avait pris naissance. Cet hydrate est couleur fleur de pêcher, et sa teinte rappelle beaucoup celle de l'hexachlorure de chrome; il a été bien décrit par Bersch, dont j'ai pu ainsi contrôler les observations très exactes.

Voici les réactions que quelques acides donnent avec la solution de $CoCl^2 + 6H^2O$ dans le glycol :

1° *Acide chlorhydrique :* quelques gouttes font virer au bleu foncé, avec reflets verdâtres;

2° *Acide sulfurique :* quelques gouttes font virer au violet;

3° *Acide azotique ordinaire :* par quelques gouttes, la solution reste de la teinte primitive;

4° *Acide acétique concentré :* la solution vire au rouge carmin;

5° *Acide bromhydrique concentré :* la solution vire au violet;

6° *Acide tartrique en solution concentrée :* la liqueur vire au rouge carmin.

Montpellier, 29 mai 1904.

La Classe procède aux élections pour les places vacantes. Ont été élus :

SECTION DES SCIENCES MATHÉMATIQUES ET PHYSIQUES.

Correspondant.— Swarts, Frédéric, professeur à l'Ecole du génie civil et chargé de cours à l'Université de Gand.

Associé. — Lenard, Philipp, professeur de physique à l'Université de Kiel.

SECTION DES SCIENCES NATURELLES.

Correspondants. — Durant, Théophile, directeur du Jardin botanique de l'État à Bruxelles.

Lohest, Max., professeur de géologie et de géographie physique à l'Université de Liége.

Massart, Jean, professeur à l'Université de Bruxelles et conservateur au Jardin botanique de l'Etat.

Associé. — von Koenen, Adolf, professeur de paléontologie, directeur du Musée royal de géologie, à Göttingue.

— M. le général De Tilly, trésorier de l'Académie, a été réélu, par acclamation, délégué de la Classe auprès de la Commission administrative pour l'année 1904-1905.

OUVRAGES PRÉSENTÉS.

—

De Wildeman (*Ém.*) et *Gentil* (*L.*). Lianes caoutchoutifères de l'Etat Indépendant du Congo. Bruxelles, 1904; pet. in-4° (xv-213 p., 26 pl. et 1 carte).

Pasquier (*Ern.*). La Terre tourne-t-elle? Réponse à M. Anspach. Bruxelles, 1904; extr. in-8° (37 p.).

Schuyten (*M.-C.*). Over de omzetting van zwavel in ijzer (voorloopige mededeeling). Anvers, 1904; in-8° (3 p.).

Zunz (*Edg.*). De la quantité d'albumoses contenue dans l'estomac du chien après ingestion de viande. Bruxelles, 1904; extr. in-8° (10 p.).

— Comment agissent les médicaments. Bruxelles, 1904; in-8° (24 p.).

— Ueber Abbau und Resorption der Nahrungsstoffe im Magen. Bruxelles, 1904; extr. in-8° (13 p.).

— Recherches sur la digestion de la viande chez le chien après ligature des canaux pancréatiques. (En collaboration avec Léopold Mayer.) Bruxelles, 1904; in-8° (70 p.).

LIÉGE. *Société belge de géologie, de paléontologie et d'hydrologie.* Bulletin, tome XVII. 1903.

—

ALLEMAGNE ET AUTRICHE-HONGRIE.

Assmann (*Richard*). Die Temperatur der Luft über Berlin, in der Zeit vom 1. Oktober 1902 bis 31. Dezember 1903. Berlin, 1904; in-8° (6 p. et 1 tableau).

BERLIN. *Königliche Akademie der Wissenschaften.* Abhandlungen, 1903; in-4°.

— *Gesellschaft Naturforschender Freunde.* Sitzungsberichte, 1903.

Association géodésique internationale. Comptes rendus des séances de la quatorzième Conférence générale (Copenhague, 1903). 1904; in-4°.

—

Carrasco (Gabriel). El crecimiento de la poblacion de la República Argentina, comparado con el de las principales naciones, 1890-1903. Buenos-Ayres, 1904; in-8°.

—

FRANCE.

Le Vavasseur (Raymond). Énumération des groupes d'opérations d'ordre donné. Paris-Toulouse; in-4° (124 p. autographiées).

Barrey (Ph.). Notice sur la Société havraise d'études diverses et Catalogue de ses publications. 1903; in-8°.

LE HAVRE. *Société d'études diverses.* Bibliographie méthodique de l'arrondissement du Havre, fascicules 1 à 3 et 5.

Bailland. Climat de Toulouse. Paris, 1902; extr. in-8° (4 p.).

— Application du photomètre à coin à la détermination des grandeurs photographiques des Pléiades. Paris, 1902; extr. in-8° (4 p.).

— Comparaison des catalogues méridiens de Toulouse et de Leipzig. Paris, 1902; extr. in-8° (3 p.).

ANGERS. *Société d'agriculture, sciences et arts.* Mémoires, tome VI, 1903.

ARRAS. *Académie des sciences, lettres et arts.* Mémoires, t. XXXIV, 1903.

CETTE. *Station zoologique.* Travaux, 2e sér., n° 13 : Revision des Annélides (Albert Soulier). 1903.

ROUEN. *Société d'émulation.* Bulletin, 1902. — Livre d'or. 1903; in-8° (106 p.).

— *Société des amis des sciences naturelles.* Bulletin, 1902.

TOULOUSE. *Observatoire.* Annales, tome V. 1902; in-4°.

— *Commission météorologique.* Bulletin, tome I, 1903.

— *Université.* Annuaire, 1903-1904. Rapport annuel, 1901-1902.

PARIS. *Académie des sciences de l'Institut.* Mémoires, tomes XLVI et XLVII. 1903-1904; in-4°.

ALGER. *Observatoire.* Catalogue photographique du ciel. Coordonnées rectilignes. Introduction, tomes V, VI et VII, 1er fascicule. 1903; in-4°.

—

Lockyer (*Norman*). Report made to the solar physics Committee upon the work done on the solar physics Observatory, 1903. Londres, 1904; in-8° (13 p.).

Londres. *The cancer research Fund.* Scientific reports : n° 1. The zoological distribution, the limitations in the transmissibility, and the comparative histological and cytological characters of malignant new growths. 1904; in-8°.

— *Entomological Society.* Transactions. 1903.

—

Brescia. *Ateneo.* Commentari, 1903.

Acireale. *Reale Accademia di scienze, lettere ed arti.* Rendiconti e Memorie, vol. II, 1902-1903.

Turin. *Reale Accademia.* Memorie, tome LIII, 1903.

—

Copenhague. *Commission danoise des explorations géographiques et géologiques du Groenland.* Observations astronomiques, météorologiques et magnétiques de Tasiuska, dans le district d'Angmagsalik, 1898-1899, faites par l'Expédition danoise sous la direction de G.-C. Amdrup. 1904; in-4°.

Copenhague. *Conseil permanent international pour l'exploration de la mer.* Bulletin des résultats, 1903-1904, n°s 1 et 2; in-4°.

— Publications de circonstance : N° 8. On the spawning of the cod (*Gadus Morrhua* L.) in autumn in the North Sea, with a Chart (T. Wemyss Fulton) (10 p.).

N° 9. A new mark for fish. 1904 (4 p.).

— N° 10. On a new (planktonic) species of the genus *Apherusa* (G. O. Sars). 1904.

— N° 11. Tabelle. Anhang zu den 1901 herausgegebenen hydrographischen Tabellen (M. Knudsen). 1904.

ACADÉMIE ROYALE DE BELGIQUE

BULLETIN

DE LA

CLASSE DES SCIENCES

1904. — N° 7.

CLASSE DES SCIENCES.

Séance du 2 juillet 1904.

M. Léon Fredericq, directeur.

M. le chevalier Edm. Marchal, secrétaire perpétuel.

Sont présents : MM. P. De Heen, *vice-directeur;* G. Dewalque, Éd. Van Beneden, C. Malaise, F. Folie, F. Plateau, Jos. De Tilly, Ch. Van Bambeke, G. Van der Mensbrugghe, W. Spring, M. Mourlon, C. Le Paige, J. Deruyts, J.-B. Masius, J. Neuberg, A. Lancaster, Leo Errera, Julien Fraipont, A. Jorissen, P. Francotte, Paul Pelseneer, *membres;* Mce Delacre, Aug. Lameere, F. Swarts, Th. Durand et J. Massart, *correspondants.*

M. le Directeur adresse aux nouveaux élus, MM. Swarts, Durand et Massart, présents à la séance, les félicitations d'usage de la Classe.

CORRESPONDANCE.

M. le Ministre de l'Intérieur et de l'Instruction publique fait parvenir une expédition de l'arrêté royal suivant du 3 juin dernier, qui apporte des modifications aux Statuts et Règlement général de l'Académie.

LÉOPOLD II, ROI DES BELGES,

A TOUS PRÉSENTS ET A VENIR, SALUT.

Vu l'arrêté royal du 1er décembre 1845 approuvant les Statuts organiques de l'Académie royale des sciences, des lettres et des beaux-arts de Belgique, ainsi que l'arrêté royal du 1er juin 1848, y apportant des modifications;

Vu l'article 21 de ces Statuts ainsi conçu :

« Les Mémoires des trois Classes sont publiés dans un même volume et ont chacun leur pagination. Il en est de même pour la collection des Mémoires couronnés et des Mémoires des savants étrangers dont l'impression aura été ordonnée par chaque Classe. Un Bulletin paraît mensuellement et contient le résumé des travaux des trois Classes » ;

Vu les articles 17, 18 et 19 du Règlement général ainsi conçus :

« Art. 17. — Les publications de l'Académie sont les suivantes : 1° Mémoires des membres, des associés et des correspondants; 2° Mémoires couronnés et Mémoires des savants étrangers; 3° Bulletins des séances; 4° Annuaire de l'Académie. »

« Art. 18. — L'Annuaire est publié à la fin de chaque année et il en est de même des Mémoires qui paraissent par volumes ou par partie de volume. Les Bulletins sont publiés à la suite de chaque séance et au moins huit jours avant la séance suivante. »

« Art. 19. — Chaque Mémoire, dans les deux premiers recueils, a sa pagination particulière. Les Mémoires des associés et des correspondants dans le premier recueil sont publiés à la suite de ceux des membres » ;

Considérant l'importance pour les Classes de voir les Mémoires qui se rapportent à leurs travaux respectifs constituer un ensemble pour chacune d'elles;

Considérant que c'est dans cet esprit que l'assemblée générale de l'Académie du 10 mai 1898 a provoqué la division du Bulletin en deux séries : *Sciences* et *Lettres et Sciences morales et politiques et Beaux-arts;*

Vu les propositions faites par l'Académie ensuite des résolutions prises en assemblée générale des trois Classes du 10 mai 1904 ;

Sur la proposition de Notre Ministre de l'Intérieur et de l'Instruction publique,

NOUS AVONS ARRÊTÉ ET ARRÊTONS :

ARTICLE PREMIER. — Les Statuts organiques et le Règlement général de l'Académie royale sont modifiés comme il suit :

STATUTS ORGANIQUES.

ART. 21. — Les publications de l'Académie sont les suivantes :

1° Mémoires;

2° Bulletins des séances, spécialement réservés aux communications et lectures;

3° Annuaire.

RÈGLEMENT GÉNÉRAL.

ART. 17. — Les publications de l'Académie sont les suivantes :

1° Mémoires in-4°;

2° Mémoires in-8°;

3° Bulletins des séances mensuelles;

4° Annuaire.

ART. 18. — Les Mémoires sont publiés par fascicules jusqu'à formation d'un volume. Ils comprennent deux séries :

A. Mémoires de la Classe des sciences;

B. Mémoires de la Classe des lettres et des sciences

morales et politiques et de la Classe des beaux-arts.

Chacun des Mémoires a sa pagination particulière.

Art. 19. — Les Bulletins sont publiés à la suite de chaque séance, également en deux séries comme les Mémoires.

L'Annuaire est publié à la fin de chaque année.

Art. 2. — Notre Ministre de l'Intérieur et de l'Instruction publique est chargé de l'exécution du présent arrêté.

Donné à Ostende, le 3 juin 1904.

(*signé*) LÉOPOLD.

Par le Roi :

Le Ministre de l'Intérieur
et de l'Instruction publique,

(*signé*) J. de Trooz.

— M. le Ministre de l'Intérieur fait savoir que le Conseil fédéral suisse demande au Gouvernement belge de se faire représenter officiellement au sixième Congrès international de zoologie, à Berne.

MM. Van Bambeke, Pelseneer et Lameere, délégués de l'Académie à ce Congrès, y représenteront également la Belgique.

— MM. F. Swarts, Th. Durand, Max Lohest et J. Massart, élus correspondants, MM. Lenard et von Koenen, élus associés, adressent des lettres de remerciements.

— M. le Ministre de l'Industrie et du Travail envoie, pour la bibliothèque de l'Académie, un exemplaire du tome VIII, série *A*, de la *Bibliographia geologica*, par Michel Mourlon et G. Simoens.

— La Commission de la *Belgica* adresse deux *Rapports scientifiques* qu'elle vient de publier sur les « Résultats du voyage du S. Y. *Belgica* en 1897-1899 » :

Zoologie : Bryozoaires, par Arthur Waters, et *Nématodes libres*, par le Dr J.-G. De Man.

— Remerciements.

— Hommages d'ouvrages :

1° *Contributions à l'étude de la faune du Calcaire carbonifère de Belgique : I. Échinodermes du marbre noir de Dinant ;* par Julien Fraipont ;

2° *Sur l'élasticité développée dans les jets d'eau ;* par G. Van der Mensbrugghe ;

3° *La vision ;* par le Dr Nuel (présenté par M. Léon Fredericq, avec une note qui figure ci-après) ;

4° *Notes de botanique appliquée. Sur les poils écailleux des Broméliacées ;* par Henri Micheels.

— Remerciements.

— M. le Dr Gustavus Hinrichs, professeur de chimie au Collège de pharmacie de Saint-Louis (États-Unis d'Amérique), qui a fait cadeau à l'Académie (1) d'une des météo-

---

(1) Voir *Bulletin*, 2e sér., t. XL, année 1875, p. 52. Sur le désir exprimé par la Classe, dans la séance du 7 août 1875, M. Hinrichs a envoyé une brochure relatant cette chute.

rites de la chute du 12 février 1875, connue sous le nom de *Great Iowa meteor*, adresse une note autographiée dont il demande le renvoi à un membre compétent, en vue de la publication de son catalogue illustré des météorites.

M. le Dr Hinrichs offre en même temps la brochure qu'il a publiée en 1891 (dans le *Chaperone*) sur ce fragment (le n° 13), pesant 2,663 grammes, et intitulée : *A celestical messenger; Or, fiery stones hurted from Heaven;* ainsi que son livre, publié en 1904, sous le titre de *First course in microchemical analysis.*

— Renvoi à MM. Dewalque et Cesàro.

— Travaux manuscrits à l'examen :

1° *Recherches sur la notion de l'individualité chimique, à propos de la constitution de la pinacoline;* par Maurice Delacre. — Commissaires : MM. Henry et Swarts.

2° *Deuxième communication sur quelques amines à radical alcoolique fluoré;* par Fréd. Swarts. — Commissaires : MM. Spring et Henry.

3° *Application nouvelle des invariants intégraux* (note II); par Théophile De Donder. — Commissaires : MM. de la Vallée Poussin, Mansion et Deruyts.

4° *Une contribution à l'étude des propriétés des mélanges; le point de fusion de quelques mélanges de sucres;* par H. Gillot. — Commissaire : M. Spring.

PRIX LOUIS MELSENS POUR LA CHIMIE OU LA PHYSIQUE APPLIQUÉES.

La Classe a reçu, pour être soumis au jury de la première période de ce concours expirant le 1er juillet, un ouvrage en trois parties, intitulé : *Cours de chimie appliquée à l'industrie,* par Ch. Puttemans, chimiste et professeur à l'École industrielle de Bruxelles.

Commissaires : MM. Henry, Spring et De Heen.

NOTE BIBLIOGRAPHIQUE.

J'ai l'honneur d'offrir à la Classe, au nom de mon collègue de l'Université de Liége, J.-P. Nuel, un volume ayant pour titre : *La vision.*

Depuis quelques années se fait jour de divers côtés une réaction contre ce qu'on appelle l'abus des données du sens intime en physiologie des organes des sens. Suivant les partisans de cette tendance, on devrait, au moins en physiologie comparée, proscrire l'emploi de toute notion psychologique, et même de tout terme psychologique. Attendu que nous ne saurons jamais rien de certain au sujet des données éventuelles du sens intime chez les animaux, il faut éviter de parler des sensations hypothétiques chez les animaux, et d'envisager ces sensations (ou d'autres catégories psychiques) comme les incitateurs des mouvements. Les actions les plus diverses des animaux doivent être envisagées comme étant l'expression de processus physiologiques.

Ces principes ont été posés par divers auteurs; ils ont même été mis en pratique à propos de telle ou de telle photo-réaction. Le travail de M. Nuel est le premier essai tenté pour envisager à un point de vue exclusivement physiologique toutes les photo-réactions des animaux, ou au moins leurs photo-réactions principales.

Les partisans de la nouvelle tendance se bornent généralement à vouloir appliquer leurs principes aux seuls animaux. Faut-il donc admettre deux physiologies, l'une animale, l'autre humaine, la première purement physiologique, la seconde psychologique, celle-ci voyant, comme on le fait généralement dans les sensations visuelles, le but réel des photo-réceptions, et invoquant, comme incitateur des mouvements visuels, soit des sensations visuelles, soit des sentiments de plaisir ou de déplaisir, ou encore la volonté, etc. ?

Il suffit de l'énoncé de cette hypothèse pour la réfuter. Si ces principes sont vrais, il faut qu'ils soient également applicables à l'homme.

M. Nuel a essayé, et croit avoir réussi à considérer à un point de vue exclusivement physiologique la vision humaine de la direction et celle de la distance. Il est d'avis qu'il serait possible, bien que très laborieux, de traiter de même la vision de la grandeur chez l'homme. Il émet ensuite des idées à lui sur la manière dont le physiologiste doit tenir compte des faits psychiques dits de vision spatiale.

Léon Fredericq.

RAPPORTS.

—

Il est donné lecture des rapports :

1° De MM. Henry et Spring sur un travail de M. Ad. Vandenberghe, intitulé : *Contribution à l'étude de la dissociation des corps dissous* (quatrième communication). — Impression au *Bulletin;*

2° De MM. Lagrange et Le Paige : *Sur une des causes de l'accélération séculaire du mouvement de la Lune;* par A. Jouveneau;

3° De MM. Lagrange et De Heen : A. *Sur la cause de l'ellipticité de l'orbite terrestre;* par E. Wattier; B. *Sur le mécanisme synthétique des forces cosmiques;* par C.-P. Devenyns.

Les notes 2° et 3° et les rapports auxquels elles ont donné lieu seront déposés aux archives.

A. *Note sur le chlorure de cobalt;* B. *Synthèse de sulfates par le procédé de M. Spring;* par le Dr W. Oechsner-de Coninck.

Rapport de M. W. Spring.

« M. Oechsner de Coninck a constaté que la solution de chlorure de cobalt dans le glycol se modifie, à la longue, sous l'action des rayons solaires. Cette constatation fait l'objet de la première note. Dans la seconde, M. Oechsner fait connaître qu'il a obtenu les sulfates uranique, cobalteux et nickeleux par la porphyrisation

des oxydes au contact des sulfates acides alcalins, à l'état sec.

J'ai l'honneur de proposer l'insertion de ces deux notes dans le *Bulletin* de la séance. » — Adopté.

—

Une contribution à l'étude des propriétés des mélanges : le point de fusion de quelques mélanges de sucres ; par H. Gillot.

Rapport de M. W. Spring.

« M. Gillot a déterminé le point de fusion d'un grand nombre de mélanges de sucres de diverses espèces, ayant des compositions connues, afin de s'assurer si les changements de la fusibilité observés depuis longtemps dans les alliages et dans certains mélanges d'autre nature, se retrouvaient également ici.

Le résultat général de ces patientes et consciencieuses recherches montre que le point de fusion d'un mélange de sucre est chaque fois inférieur à celui des constituants. La manière dont cet abaissement du point de fusion varie avec la composition du mélange présente souvent des particularités intéressantes, parce qu'elles sont, selon toute apparence, le témoignage d'actions moléculaires curieuses. C'est ainsi que pour certains mélanges, l'abaissement du point de fusion varie d'une manière régulière et passe par un maximum pour une composition donnée, tandis que dans d'autres cas, l'abaissement le plus grand paraît s'affranchir de la composition entre des limites assez larges, ou bien présenter des maximums interrompus par des minimums.

Des faits analogues ayant été observés, déjà, dans le cas des alliages, il devient de plus en plus évident que les particularités de la fusion sont en relation plus étroite avec la structure moléculaire qu'avec la nature chimique des corps.

J'ai l'honneur de proposer l'insertion du travail de M. Gillot dans le *Bulletin* de la séance. » — Adopté.

COMMUNICATIONS ET LECTURES.

Le nivellement de précision de la Belgique. Rectification; par G. Dewalque, membre de l'Académie.

Dans le rapport que nous avons eu l'honneur de présenter à l'Académie, lors de sa séance d'avril, nous avons dit que nous avions le regret de devoir constater que la Belgique ne possède aucun nivellement de précision. Nous parlions ainsi d'après des renseignements sur lesquels nous croyions pouvoir compter. Ayant envoyé un des premiers tirés à part à M. le major Gillis, directeur de l'Institut cartographique militaire, pour qu'il pût éventuellement en tirer parti à l'appui d'une demande de subside pour l'exécution d'un tel nivellement, M. le Directeur s'empressa de nous exprimer ses regrets de nous voir mal informé, un nivellement de haute précision ayant été exécuté de 1889 à 1892, publié en 1894 par l'Institut cartographique sous le titre de *Répertoire graphique des repères des nivellements de précision* et figurant sous le numéro 29*a* au Catalogue des publications de cet établissement (qui se trouve au verso du Tableau d'assemblage des cartes de la Belgique).

A sa lettre était jointe, entre autres, la partie de ce Répertoire qui longe la frontière prussienne et l'observation qu'il est raccordé en seize points au nivellement analogue de la Prusse. Le polygone que nous avions recommandé y est compris pour sa partie belge.

S'il est toujours pénible d'avoir à reconnaître que l'on a été mal renseigné, nous éprouvons en même temps la satisfaction de voir que « nous occupons notre rang dans le concert européen ».

Nous demandons à pouvoir ajouter, à titre de circonstances atténuantes, que ce Répertoire n'a jamais été reçu par l'Académie, qu'il n'existe pas dans la bibliothèque de l'Université de Liége, ni même à la Bibliothèque royale, et que nous n'en avons jamais vu un compte rendu.

—

Contribution à l'étude de la dissociation des corps dissous (quatrième communication); par Ad. Vandenberghe, répétiteur à l'Université de Gand.

La brève communication que j'ai l'honneur d'envoyer à l'Académie royale des sciences a pour objet de compléter le travail que j'ai présenté il y a quelque temps à cette assemblée savante (1).

J'y étudie le second point du programme adopté au début de mon travail sur la dissociation des corps dissous (2), notamment celui de la dissociation des corps polymérisés.

---

(1) Ad. Vandenberghe, *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique* (Classe des sciences), nos 9-10, 1903, p. 908.

(2) Ad. Vandenberghe, *ibid.*, no 11, 1899, p. 661.

Le choix des substances à étudier devait être nécessairement fort restreint, puisque la substance polymérisée devait réaliser les propriétés suivantes : se laisser dédoubler en molécules plus simples, celles-ci ayant un point d'ébullition supérieur à celui de la substance dissolvante. Chose digne de remarque : la plupart des substances polymérisées deviennent insolubles dans nos dissolvants ordinaires. J'ai finalement arrêté mon choix sur l'aldéhyde œnanthique polymérisée.

Ce produit a été préparé pour la première fois par Bruylants (1). Perkin (2) dit avoir suivi la méthode indiquée par Bruylants et avoir obtenu une substance cristallisée. En étudiant les produits de décomposition de la polyaldéhyde œnanthique, il attribue à la polyaldéhyde la formule $(C_7H_{14}O)_4$.

Malgré les soins employés pour imiter la méthode indiquée par ces deux auteurs, je ne suis pas parvenu à obtenir cette substance à l'état cristallin, même avec une aldéhyde œnanthique purifiée par le bisulfite de sodium. Je m'étais d'abord adressé à une maison allemande pour me procurer l'aldéhyde œnanthique ordinaire. Celle-ci m'ayant donné un polymère sirupeux, j'ai préparé moi-même l'aldéhyde œnanthique par distillation de l'huile de ricin, et après purification rigoureuse je l'ai polymérisée par la méthode Bruylants. D'après MM. Bruylants et Perkin, il suffit de placer la polyaldéhyde au-dessus de l'acide sulfurique pour la voir cristalliser au bout de quelques heures. Mes différentes préparations, même

---

(1) Bruylants, *Ber. der deut. chem. Ges.*, VIII, 415.

(2) Perkin, *Ber. der deut. chem. Ges.*, XVI, 1033.

après plusieurs mois de séjour dans un exsiccateur à acide sulfurique, sont restées à l'état sirupeux.

La polyaldéhyde avait une densité de 0,910 à 15° C.; l'aldéhyde ordinaire possède une densité de 0,82.

Afin d'exclure toute influence spécifique des dissolvants sur la dissociation de ce polymère, j'ai opéré avec trois acétones sensiblement de même constitution chimique: l'acétophénone, l'acétone ordinaire et la diéthylacétone.

J'ai établi la constante cryoscopique de l'acétophénone et la constante ébullioscopique de la diéthylacétone par voie indirecte, en déterminant la variation cryoscopique ou ébullioscopique moléculaire produite par l'acide benzoïque, l'acide salicylique et la naphtaline.

Le petit tableau suivant donne les résultats obtenus :

Détermination de la valeur de K *pour l'acétophénone.*

PREMIER ESSAI. — 25gr9 d'acétophénone.

Substance dissoute : acide benzoïque.

p.	*t' — t.*	K.
0,627	0,945	**47,6**
1,179	1,820	**48,7**
1,634	2,425	**47,0**

DEUXIÈME ESSAI. — 24gr7 d'acétophénone.

Substance dissoute : acide salicylique.

p.	*t' — t.*	K.
0,354	0,495	**47,7**

TROISIÈME ESSAI. — 22gr3 d'acétophénone.

Substance dissoute : naphtaline

p.	*t' — t.*	K.
1,368	2,33	**48,6**

La moyenne des cinq résultats est **47,9**.

Détermination de la valeur de K *pour la diéthylacétone.*

PREMIER ESSAI. — 14gr4 de diéthylacétone.

Substance dissoute : acide benzoïque.

p.	*t' — t.*	K.
0,796	1,18	**26,0**

DEUXIÈME ESSAI. — 14gr4 de diéthylacétone.

Substance dissoute : naphtaline.

p.	*t' — t.*	K.
1,027	1,48	**26,6**

La moyenne de K = **26,3.**

La concordance des valeurs trouvées pour K avec des corps de fonction chimique différente est parfaitement satisfaisante et permet d'exclure l'hypothèse d'une association moléculaire provoquée par ces dissolvants.

Étude de la dissociation de la polyaldéhyde œnanthique.

Expérience I.

Dissolvant : 23 grammes d'acétophénone.
(Point de fusion : 18°25 C. K = 48.)

Première substance dissoute : polyaldéhyde œnanthique.

p.	%.	*t' — t.*	*m.*
1,093	5	0,82	**270**
2,933	13	2,05	**298**

Deuxième substance dissoute : naphtaline.

p.	*t' — t.*	K.
0,573	0,96	**120**

Ces résultats prouvent que la polyaldéhyde œnanthique est dissociée dans l'acétophénone et que cette dissociation diminue avec la concentration.

La polyaldéhyde a probablement une formule au moins triple de celle de l'aldéhyde simple.

Le poids moléculaire obtenu pour la naphtaline prouve qu'ici la présence de cette substance est sans aucune action sur la dissociation de la polyaldéhyde œnanthique.

J'ai montré dans ma troisième communication (1) sur la dissociation des corps dissous que dans les associations moléculaires vraies la présence d'un corps étranger a une réelle influence sur la grandeur particulaire.

Le dédoublement d'un corps polymère obéirait donc complètement aux lois de dissociation, comme le prouveront d'ailleurs les deux déterminations suivantes.

Expérience II.

Dissolvant : 15gr3 d'acétone ordinaire.
(Point d'ébullition : 56° C. K = 16,7.)

Première substance dissoute : polyaldéhyde œnanthique.

p.	°/₀.	*t' — t.*	*m.*
1,267	8	0,525	**263**
2,714	11	1,070	**276**

Seconde substance dissoute : naphtaline.

p.	*t' — t.*	K.
1,786	1,38	**128**

(1) Ad. Vandenberghe, *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique* (Classe des sciences), nos 9-10, 1903, p. 908.

Expérience III.

Dissolvant : 12gr3 de diéthylacétone.
(Point d'ébullition : 102° C. K = 26,3.)

Première substance dissoute : polyaldéhyde œnanthique.

p.	°/₀.	*t' — t.*	*m.*
2,725	22	2,35	247

Deuxième substance dissoute : naphtaline.

p.	*t' — t.*	K.
0,5	0,8	132

Ces résultats peuvent être résumés en ne citant que les concentrations et les poids moléculaires obtenus pour la polyaldéhyde œnanthique.

Dissolvant.	°/₀.	*m.*
Acétophénone (t^o = 18°25 C.) . . .	5	270
	13	298
Acétone (t^o = 56° C.)	8	263
	11	276
Diéthylacétone (t^o = 102° C.) . . .	22	247

Nous voyons qu'au fur et à mesure que la polyaldéhyde œnanthique se trouve à une température plus élevée, la dissociation devient plus importante. Cette augmentation de la dissociation a pour effet d'augmenter le nombre des molécules dissoutes, ce qui se traduit par un abaissement du poids moléculaire observé.

Ce qui frappe davantage dans les trois expériences décrites plus haut, c'est la constance du poids moléculaire de la naphtaline. Le dédoublement des molécules polymérisées ne paraît pas être influencé par la présence

d'une substance étrangère, et ce phénomène serait donc d'une autre nature que celui qui préside à la dissociation des molécules dites associées.

La dissociation des substances polymérisées et à l'état dissous répond, par conséquent, aux lois de la dissociation gazeuse, et la loi de Van 't Hoff se trouve ainsi une nouvelle fois vérifiée.

Gand, le 5 mars 1904.

A la suite de la lecture de ce travail, M. le professeur L. Henry, étonné de ce que je n'eusse pu isoler la polyaldéhyde œnanthique à l'état cristallisé, me fit observer qu'il venait d'obtenir cette substance cristallisée en partant de l'aldéhyde ordinaire de la maison Kahlbaum, et indiquait comme moyen de séparation du polymère d'avec le carbonate de potasse, agent de polymérisation, un épuisement par l'éther. L'évaporation de ce dernier liquide lui avait fourni la polyaldéhyde cristallisée. Je n'avais jamais songé à ce procédé de séparation, puisque Perkin déclare qu'il est impossible d'obtenir la polyaldéhyde cristallisée par évaporation d'une dissolution de ce produit dans l'éther, l'alcool, etc. (1). J'aurai l'occasion de revenir sur ce détail plus loin.

Aussitôt que j'eus reçu communication de l'intéressant rapport du savant professeur, je fis venir 200 grammes d'aldéhyde œnanthique de la maison Kahlbaum. Une distillation fractionnée, exécutée avec le plus grand soin, me donna d'abord environ 10 centimètres cubes d'un

---

(1) Perkin, *Ber. der deut. chem. Ges.*, 1883, p. 1034 : « Es ist sehr leicht löslich in Alkohol, Aether und Chloroform, Schwefelkohlenstoff und Petroleumäther kristallisirt aus den Lösungen aber nicht. »

liquide à point d'ébullition 146°-152° C., à forte odeur d'acroléine. Il passa ensuite 150 centimètres cubes d'aldéhyde pure (152°-152°5 C.). Le restant du liquide contenu dans le ballon distillatoire se solidifia par refroidissement.

Le produit pur a été mis au contact du carbonate de potasse solide, et, à ma grande satisfaction, j'ai vu la substance se transformer, au bout de trois jours, en une masse butyreuse renfermant de petits cristaux.

Pour opérer la séparation du carbonate, j'ai utilisé le procédé indiqué plus haut par M. Henry et j'ai obtenu, par évaporation spontanée de l'éther, quelques grammes du produit cristallisé. J'ajouterai ici que l'évaporation spontanée d'une solution dans l'acétone m'a également fourni la substance cristallisée. Cette double constatation est donc en contradiction avec l'assertion de Perkin.

Les cristaux obtenus ont été séparés par filtration de la liqueur sirupeuse. Cette dernière formait plus des deux tiers de l'œnanthol primitivement mis en œuvre.

Croyant à une polymérisation incomplète, j'ai remis le liquide sirupeux en contact avec du carbonate de potasse pendant huit jours, puis j'ai recommencé le travail de séparation, mais sans obtenir la moindre cristallisation.

Afin de vérifier si je ne me trouvais point devant un état de surfusion, j'ai introduit dans le liquide épais quelques cristaux obtenus dans la première opération; mais, à mon grand étonnement, ces cristaux se sont peu à peu liquéfiés à leur tour. J'ajouterai encore que le produit qui m'avait servi dans mes précédentes déterminations cryoscopiques et ébullioscopiques, mis au contact avec le produit solide, s'est montré également rebelle à la cristallisation. Devant ce double insuccès, je me suis mis à étudier la grandeur moléculaire et du produit

cristallisé et du produit sirupeux, et les résultats prouvent que les deux produits ont sensiblement le même poids moléculaire, et, de plus, les chiffres obtenus correspondent à ceux indiqués dans mes premières recherches.

Expérience IV.

Dissolvant : 23gr9 d'acétophénone.

Première substance dissoute : la polyaldéhyde œnanthique cristallisée.

p.	°/o.	*t' — t.*	*m.*
1,008	4	0,74	280
2,003	8	1,41	285
3,177	13	2,07	310

Deuxième substance dissoute : la naphtaline.

p.	*t' — t.*	K.
0,866	1,34	130

Expérience V.

Dissolvant : 15gr5 d'acétone ordinaire.

Première substance dissoute : la polyaldéhyde œnanthique cristallisée.

p.	°/o.	*t' — t.*	*m.*
0,898	6	0,39	250
1,580	10	0,65	260

Deuxième substance dissoute : la naphtaline.

p.	*t' — t.*	K.
1,32	1,18	125

Expérience VI.

Dissolvant : 15gr2 de diéthylacétone.

Première substance dissoute : la polyaldéhyde œnanthique cristallisée.

p.	°/o.	*t' — t.*	*m.*
1,053	7	0,84	**210**
2,278	14	0,88	**224**

Deuxième substance dissoute : la naphtaline.

p.	*t' — t.*	K.
0,956	1,3	**126**

Expérience VII.

Dissolvant : 27gr3 d'acétophénone.

Substance dissoute : la polyaldéhyde œnanthique liquide.

p.	°/o.	*t' — t.*	*m.*
2,538	9,2	1,66	**270**
5,233	20	2,82	**326**

Expérience VIII.

Dissolvant : 15gr4 d'acétone ordinaire.

Substance dissoute : la polyaldéhyde œnanthique liquide.

p.	°/o.	*t' — t.*	*m.*
1,35	9	0,57	**260**

Expérience IX.

Dissolvant : 14gr8 de diéthylacétone.

Substance dissoute : la polyaldéhyde œnanthique liquide.

p.	%	*t' — t.*	*m.*
2,00	14	1,53	**244**
3,64	25	2,58	**250**

Il serait difficile, en ce moment, de trancher la question de savoir si le produit cristallisé et le produit liquide constituent deux stéréo-isomères comparables à la para- et à la métaldéhyde ordinaires, ou si le produit liquide est de la polyaldéhyde solide qui refuse de cristalliser par suite de la présence d'une trace d'impureté, comme c'est le cas pour l'acide phénique, qui au contact d'une trace d'alcool devient incristallisable. C'est là une question que je pourrais chercher à résoudre, à moins que M. Henry ne se réserve ce sujet. Quoi qu'il en soit, les résultats obtenus dans mes nouvelles recherches et avec le produit cristallisé confirment les conclusions de mon premier travail.

Je dois faire remarquer d'ailleurs que le but du présent travail n'était pas l'étude de la grandeur moléculaire et de la constitution de la polyaldéhyde œnanthique, et que le seul intérêt que ce corps présentait pour moi se trouvait dans sa dissociation probable sous l'action d'une élévation de température. Cette dissociation s'est non seulement vérifiée expérimentalement, mais j'estime que le résultat le plus intéressant de mes recherches gît dans la constatation que cette dissociation n'est pas

influencée par la présence d'une autre substance dissoute, comme c'est le cas pour les associations moléculaires, et de démontrer ainsi que la dissociation de ces dernières ne répond pas à toutes les lois de la dissociation gazeuse.

Laboratoire de chimie générale.
Gand, le 3 juin 1904.

—

Note sur le chlorure de cobalt (1); par le Dr W. Oechsner de Coninck, professeur à l'Université de Montpellier.

La solution de chlorure de cobalt dans le glycol est, comme je l'ai indiqué récemment, d'un beau violet-pourpre. Après avoir étudié l'action de la chaleur sur cette solution, j'ai eu l'idée de l'insoler. Pendant les premiers jours, les radiations solaires n'ont paru produire aucun effet, mais au bout de plusieurs semaines, la solution a peu à peu changé de teinte; de violet-pourpre, elle est devenue d'un violet bleu foncé, ne gardant que quelques reflets purpurins. J'ai essayé d'isoler, par distillation sous pression réduite, l'hydrate de chlorure de cobalt y contenu, mais je n'ai obtenu que le chlorure de cobalt tétrahydraté, ou son mélange avec le dihydrate ($CoCl^2 + 2H^2O$).

Quoi qu'il en soit, si l'on réfléchit aux changements survenus lors de l'insolation, et *sous cette influence seule*, on ne peut s'empêcher de penser comme les chimistes qui ont admis que les hydrates du chlorure de cobalt se présentent sous plusieurs modifications allotropiques.

Montpellier, 24 juin 1904.

---

(1) Institut de chimie de l'Université de Montpellier.

—

Synthèse de sulfates par le procédé de M. Spring (1); par le Dr W. Oechsner de Coninck, professeur à l'Université de Montpellier.

En me conformant aux indications données par M. Spring dans un mémoire paru au *Bulletin de l'Académie royale* (Classe des sciences, 1904, n° 3, p. 306), j'ai pu reproduire trois sulfates : le sulfate uranique, les sulfates de cobalt et de nickel.

A cet effet, l'hydrate uranique UO^3, H^2O et les oxydes CoO et NiO ont été porphyrisés dans des mortiers de porcelaine avec un léger excès de bisulfate de sodium pur et cristallisé; au bout de quelques minutes, le contenu des trois mortiers a été repris par l'eau distillée, j'ai filtré et j'ai obtenu ainsi une solution jaune clair, une solution rosée et une solution vert pâle, *donnant toutes les réactions qualitatives* des sels uraniques et des sels de cobalt et de nickel.

La solution jaune clair a été concentrée et a laissé déposer du sulfate uranique $SO^4(UO^2) + 3H^2O$ identique au sel que j'avais préparé par l'action de l'acide sulfurique sur l'oxyde uranique. J'ai répété l'expérience avec l'hydrate uranique et le bisulfate de potassium cristallisé; le résultat a été le même.

Toutes ces réactions se font rapidement et facilement, et constituent de belles expériences de cours.

Je remercie M. Spring d'avoir bien voulu m'autoriser à engager ces recherches dans la voie nouvelle qu'il a si heureusement tracée.

Montpellier, 24 juin 1904.

---

(1) Institut de chimie de l'Université de Montpellier.

Une contribution à l'étude des propriétés des mélanges : le point de fusion de quelques mélanges de sucres; par H. Gillot.

On sait à quelles constatations intéressantes a déjà conduit l'étude des propriétés physiques des mélanges.

Les anciennes recherches d'Ermann (1), de Rudberg (2), de Regnault et de Matthiesen (3) sur la densité, la chaleur latente de fusion, la fusibilité de quelques alliages métalliques, ainsi que les travaux plus récents de Wiedemann (4) sur la vitesse de refroidissement des alliages, de Spring (5) sur la chaleur des alliages de plomb et d'étain, de Lechatelier (6) sur la fusibilité des alliages métalliques, de Küster (7) sur le point de fusion de certains mélanges isomorphes, auxquels il convient d'ajouter les remarquables recherches de Roberts-Austen, Thurston, Osmond, Bakhuis-Roozeboom, etc., nous ont permis de nous faire une idée absolument nette de la constitution physique et chimique des alliages et des mélanges isomorphes.

Mais de toutes les propriétés physiques des mélanges

---

(1) *Pogg. Ann.*, t. IX, p. 557.

(2) *Pogg. Ann.*, t. XVIII, p. 240.

(3) *Fortschritte der Physik*, 1860, t. XVI, p. 352.

(4) *Wiedemann's Annalen*, 1878, t. III, p. 237.

(5) *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique*, 3e sér., t. XI, pp. 355-404.

(6) *Bulletin de la Société d'encouragement pour l'industrie nationale*, février, avril, mai 1895.

(7) *Zeitschr. f. phys. Chemie*, V, 601; VIII, 577.

(alliages ou mélanges isomorphes), l'une de celles qui méritent le plus d'attirer l'attention est la fusibilité.

C'est à l'étude de cette question que je vais essayer d'apporter une contribution en faisant connaître les résultats auxquels je suis arrivé en soumettant à un examen attentif un grand nombre de mélanges de sucres.

La comparaison du point de fusion d'un mélange — le mot mélange étant pris dans son acception la plus large — avec le point de fusion des éléments qui le constituent, montre dans la grande majorité des cas que le point de fusion du mélange est inférieur à la moyenne des points de fusion des constituants et souvent même inférieur au point de fusion du constituant le plus fusible.

Ce fait s'observe chez presque tous les alliages métalliques (1); on l'observe aussi pour les mélanges de certains corps gras (acide palmitique et laurique, myristique et palmitique), ainsi que pour les mélanges de certains composés organiques (acides méta- et paraoxybenzoïque) et minéraux (mélanges salins).

Au contraire, les mélanges isomorphes (mélange d'hexachlorocétopentane et de pentachlorobromocétopentane) se comportent d'une façon toute différente, leur point de fusion étant exactement la moyenne des points de fusion des constituants. La régularité est tellement

---

(1) On sait qu'il y a quelques exceptions à cette règle.

Les alliages d'antimoine et d'aluminium fondent à une température supérieure à celle des éléments composants (Wright, *Journ. of the chemical Industry*, 1892, 493). Roberts-Austen a observé des faits semblables en étudiant certains alliages d'or et d'aluminium (*Institution of mechanical Engineers*, 1895).

remarquable que Küster (1) a pu, dans certains cas, calculer d'avance le point de fusion par la règle simple des mélanges $S = a S_1 + (1 - a) S_2$. L'alliage bismuth-antimoine est dans le même cas; ces alliages sont constitués par des mélanges isomorphes : leurs points de fusion sont intermédiaires entre ceux du bismuth et de l'antimoine (2).

Les recherches qui font l'objet de cette note ont pour objet d'appliquer aux mélanges de sucres les idées théoriques que l'on a déduites logiquement des expériences faites sur les métaux.

Les très nombreux essais que j'ai entrepris en mêlant entre eux des sucres de configuration différente (saccharose, glucose, lactose, dulcite, mannite), tendent à prouver que leurs mélanges se comportent effectivement comme des mélanges de métaux. Toujours, leur point de fusion est inférieur à la moyenne des points de fusion des constituants; et lorsque la différence entre les points de fusion des constituants n'est pas trop grande, le point de fusion des mélanges est inférieur au point de fusion du constituant le plus fusible.

Recherches expérimentales.

Mes observations ont porté sur des mélanges de sucres appartenent à des séries différentes.

Parmi les alcools polyatomiques, j'ai fait choix de la dulcite et de la mannite : deux hexites de formule $C^6H^{14}O^6$.

---

(1) Küster, *loc. cit.*

(2) H. Gautier, *Bulletin de la Société d'encouragement*, octobre 1896.

Comme type de sucre réducteur, j'ai pris le glucose *d*, hexose de formule $C^6H^{12}O^6$.

Enfin, dans la classe des polyoses, je me suis adressé au saccharose et au lactose.

Les mélanges binaires sur lesquels ont porté mes investigations ont été les suivants :

Mannite-dulcite (mélange de deux hexites).
Mannite-glucose (mélange d'un hexose et d'une hexite).
Dulcite-glucose (mélange d'un hexose et d'une hexite).
Dulcite-saccharose (mélange d'une hexite et d'un sucre hydrolysable).
Dulcite-lactose (mélange d'une hexite et d'un sucre hydrolysable).
Mannite-saccharose (mélange d'une hexite et d'un sucre hydrolysable).
Mannite-lactose (mélange d'une hexite et d'un sucre hydrolysable).
Saccharose-glucose (mélange d'un hexose et d'un sucre hydrolysable).
Saccharose-lactose (mélange de deux sucres hydrolysables).
Lactose-glucose (mélange d'un hexose et d'un sucre hydrolysable).

J'ai étudié également la façon de se comporter de quelques mélanges ternaires ; je me suis particulièrement consacré à l'examen des mélanges ternaires suivants :

1. Saccharose-lactose-glucose.
2. Saccharose-dulcite-glucose.
3. Saccharose-dulcite-mannite.
4. Glucose-dulcite-mannite.

J'ai examiné en tout cinq cents mélanges ; les points de fusion représentent la moyenne de trois essais ; c'est-à-dire que j'ai fait au total quinze cents déterminations de points de fusion.

J'ai opéré pour tous ces essais dans des tubes ouverts à une extrémité et dont le diamètre intérieur était très sensiblement égal à 1 millimètre. Quant au mode opératoire adopté, ç'a été celui suivi généralement pour la

détermination des points de fusion. On a opéré au bain de paraffine blanche ; la partie du tube renfermant le mélange était au niveau du réservoir à mercure du thermomètre, le tube et le thermomètre étant rendus solidaires au moyen d'une petite ligature de caoutchouc. On notait la température au moment précis où la matière commençait à couler sur les parois du tube qui la contenait.

Je crois inutile de dire que les mélanges étaient rendus parfaitement homogènes avant leur introduction dans le tube de fusion.

Pour des mélanges ayant des points de fusion assez forts, on élevait la température rapidement (environ 5° à 6° par minute) pendant les premiers moments de chauffe, puis, lorsqu'on avait atteint une température d'environ 25° à 30° inférieure à la température de fusion, on élevait la température beaucoup plus lentement (2° par minute), de façon à pouvoir saisir aisément l'instant précis où la substance coulait dans le tube.

Tous les essais ont été conduits d'une façon identique en ce qui concerne la vitesse de chauffe, de façon à éviter les variations quelquefois considérables que le facteur « temps » est capable de faire subir aux points de fusion. Je me suis d'ailleurs assuré, par des essais directs, qu'il faut exagérer considérablement les conditions de chauffe pour obtenir des différences sensibles (1).

---

(1) J'ai fait d'assez nombreux essais sur l'influence du facteur temps. Afin de ne pas trop surcharger la présente note, je ne donnerai ici que celui relatif au mélange 45 glucose + 55 saccharose.

a) Le point de fusion de ce mélange, déterminé comme il a été dit plus haut, a été trouvé égal à 137.7.

J'ai à peine besoin de dire que tous les points de fusion renseignés sont des points de fusion corrigés; je me suis servi pour la correction de la formule connue :

$$n\,(t - t')\,0.000154,$$

c'est-à-dire que le point de fusion corrigé est donné par la formule

$$T = t + n\,(t - t')\,0.000154,$$

expression dans laquelle les lettres conservent leur signification habituelle.

---

b) Modifions un peu les conditions de chauffe : partons de 80° et élevons la température de 5° par minute jusque 126°. Maintenons cette température de 126° pendant dix minutes, puis élevons la température de 2° par minute jusqu'au point de fusion. Celui-ci s'observe à 137°.

c) Partons encore de 80° et élevons encore la température de 5 à 6° par minute jusque 131°9; puis maintenons le mélange à cette température pendant seize minutes, puis élevons la température lentement : la fusion s'observe à 136°.

d) Exagérons davantage encore les conditions de chauffage. Pour cela, partons de 40° et élevons la température de 5° par minute jusque 121°9; station d'une demi-heure à cette température, puis élévation lente jusque 132°2. Maintenons cette température de 132°2 jusqu'à fusion de la matière; celle-ci s'observe après une demi-heure.

La comparaison entre les résultats des essais *d* et *a* montre qu'il faut se placer dans des conditions exceptionnelles pour obtenir des différences sensibles (5°5 dans ce cas) dans la valeur du point de fusion d'un mélange suivant la vitesse de chauffe. J'ai exagéré à dessein les conditions de chauffe de façon à montrer que même de petits changements au mode opératoire décrit plus haut, en ce qui concerne la vitesse de chauffe, ne seraient pas de nature à fausser les résultats.

Quelques mots des produits employés : ils étaient naturellement aussi purs que possible. Ceux qui cristallisent facilement ont été purifiés par des cristallisations successives.

Quant au saccharose, on l'a employé sous forme de raffiné aussi pur que l'industrie est capable de le fournir. C'est d'ailleurs sous cette forme qu'on a le plus de chance de l'obtenir à l'état de pureté, les manipulations successives opérées dans un laboratoire en vue de sa recristallisation étant plutôt de nature à l'attaquer qu'à le purifier, comme je l'ai observé à différentes reprises. Une observation semblable a déjà été faite par MM. Mascart et Benard, puis par M. Pellat, dans leurs travaux sur la détermination du pouvoir rotatoire du sucre.

Le saccharose employé dans tous les essais m'a donné :

$$(\alpha)_D^{20} = + 66.57,$$

point de fusion (corr.) = 189.2 (moyenne de 6 essais) (1).

---

(1) Je crois utile d'ouvrir ici une parenthèse afin de déterminer la valeur exacte du point de fusion du saccharose. La plupart des ouvrages et des publications indiquent 160°, quelques auteurs donnent 180-185°, l'*Agenda du chimiste* de 1897 indique 190-200°. A quoi tiennent ces différences considérables? Sont-elles imputables à la provenance même du sucre ou bien à la façon dont la fusion a été conduite?

Je vais essayer de répondre à ces deux questions. Pour répondre à la première, j'ai comparé le point de fusion de mon saccharose aux points de fusion de sucres de provenance toute différente et obtenus par des procédés de fabrication également différents.

Le lactose a été employé sous forme de $C^{12}H^{22}O^{11} + H^2O$.

J'ai cru intéressant de réunir en un tableau le détail de ces essais :

Numéro d'ordre.	INDICATIONS.	Point de fusion observé n. c.	Point de fusion corrigé.	Moyenne.
1	Raffiné.	187.0 185.5	188.87 189.67	189.27
2	Cristallisé blanc non raffiné provenant de la fabrication de 1901.	185.0 185.0 187.5 185.0	189.17 189.17 189.37 189.17	189.22
3	Cristallisé blanc non raffiné provenant de la fabrication de 1894.	187.9 185.2	189.75 189.37	189.56
4	Cristallisé blanc non raffiné provenant de la fabrication de 1891.	187.1 185.0	188.97 189.17	189.07
5	Cristallisé d'une fabrique des Flandres (1900).	185.5 185.4	189.67 189.57	189.62

Il est remarquable que tous ces sucres présentent un point de fusion quasi identique, bien qu'ils eussent été obtenus dans des usines différentes, par des procédés de fabrication différents également. Le n° 2, par exemple, avait été obtenu en milieu neutre et fortement

Son pouvoir rotatoire déterminé à la température de 17°5 et pour une concentration de 6 % a été trouvé

$$(\alpha)_D^{17.5} = + 52.89.$$

---

sulfité, tandis que les échantillons 3 et 4 avaient cristallisé dans un milieu fortement alcalin et très peu sulfité.

Voyons si le mode opératoire exercera sur la détermination du point de fusion une influence suffisamment grande pour expliquer les différences constatées par les divers auteurs.

a) Durée de l'opération : 8 minutes.

Point de départ (n. c.)	130°
Point d'arrivée (n. c.)	187
Correction : 2.1, soit point de fusion corrigé	**189.1**

b) Conduisons l'opération un peu moins rapidement. Point de départ : 30°. Durée de l'opération : 27 minutes. Point de fusion corrigé :

$$\left.\begin{matrix}188.38\\188.90\end{matrix}\right\}\text{ moyenne : } \mathbf{188.64.}$$

c) Opérons d'une façon beaucoup plus lente. Point de départ : 25°. Élévation de la température par minute : 2 9. La durée totale de l'essai a été de 55 minutes. Point de fusion corrigé :

$$\left.\begin{matrix}186.83\\187.03\end{matrix}\right\}\text{ moyenne : } \mathbf{186\ 93,}$$

c'est-à-dire que les points de fusion ont varié en fonction de la durée de chauffe dans les limites suivantes :

8 minutes de chauffe	189°00
27 minutes de chauffe	188°64
55 minutes de chauffe	186°93

Malgré les conditions si différentes dans lesquelles ont été exécutés ces essais, la valeur du point de fusion n'oscille cependant que dans des limites très étroites (187° à 189°).

Le calcul de la rotation spécifique du produit anhydre a donné

$$(\alpha)_D = + 56.57.$$

La détermination du point de fusion a conduit à la valeur : 206.

On trouvera dans le tableau suivant les caractères des composants d'après mes propres déterminations :

	Formule.	Rotation spécifique α_D.	Point de fusion corrigé.	Teneur centésimale en matières minérales.
Mannite	$C^6H^{14}O^6$	—	169.0	0g0081
Dulcite	$C^6H^{14}O^6$	—	188.8	0.0038
Glucose	$C^6H^{12}O^6$	52.60	144.4	0.0125
Lactose	$C^{12}H^{22}O^{11}+H^2O$	52.89	206 envir. (1)	—
Saccharose . . .	$C^{12}H^{22}O^{11}$	66.57	189.2	0.0096

Mélanges binaires.

Comme ce sont les représentations graphiques qui permettent le plus aisément de se rendre compte de la constitution des mélanges binaires, j'ai tracé, pour tous

(1) On sait qu'il est fort difficile, sinon impossible, de déterminer avec rigueur le point de fusion du lactose. Il fond en se décomposant vers 204°-208°. La masse brunit tellement fort à cette température, qu'il est excessivement difficile d'observer la fusion. La même observation s'applique à tous les mélanges renfermant un grand excès de lactose. Le fort brunissement de la masse aux températures voisines du point de fusion ne permet que des déterminations approximatives.

les mélanges dont j'ai déterminé les points de fusion, les courbes de fusibilité en portant en abscisses la variable arbitraire (dans ce cas, les proportions centésimales de chacun des sucres), et en ordonnées la fonction de cette variable déterminée par l'expérience (le point de fusion).

L'inspection des courbes de fusibilité des mélanges de sucres va nous permettre de nous faire une idée assez exacte de la façon dont se comportent ces mélanges. Lorsque la courbe sera continue et se confondra avec la droite joignant les points de fusion des deux sucres pris isolément, on pourra conclure à la formation de mélanges isomorphes.

Si, au contraire, la courbe se compose de deux branches se coupant à angle vif en un point correspondant au point de fusion minimum, on en conclura qu'il y a formation d'un mélange eutectique, et les propriétés des mélanges seront alors intermédiaires entre celles des éléments composants.

Enfin, lorsque les courbes de fusibilité représenteront un nombre de branches supérieur à deux, on pourra conclure à l'existence de combinaisons définies.

Pour tous les mélanges étudiés, je réunirai d'abord en un tableau les valeurs des points de fusion obtenus expérimentalement et je représenterai pour chaque couple les résultats obtenus par une courbe de fusibilité, dont on trouvera un tracé dans les graphiques I et II.

Les couples sur lesquels j'ai opéré ont été les suivants :

Saccharose-glucose.	Glucose-dulcite.
Saccharose-lactose.	Glucose-mannite.
Saccharose-dulcite.	Lactose-dulcite.
Saccharose-mannite.	Lactose-mannite.
	Dulcite-mannite.

Couple saccharose-glucose.

Point de fusion du saccharose 189.2
Point de fusion du glucose 144.4
Différence des points de fusion des constituants . . 44.8

Numéro d'ordre.	Composition du mélange :		Point de fusion.
	Saccharose.	Glucose.	
1	100	0	189.2
2	95	5	175.8
3	92.5	7.5	169 8
4	90	10	165.8
5	87.5	12.5	158.0
6	85	15	150.4
7	80	20	143.9
8	70	30	140.7
9	60	40	139.3
10	50	50	135.6
11	40	60	139.8
12	30	70	134.8
13	20	80	139 6
14	10	90	140 5
15	5	95	141.9
16	0	100	144 4

Remarquons tout d'abord que l'addition au saccharose de petites quantités de glucose a pour résultat d'abaisser notablement le point de fusion du premier de ces deux sucres. Il a suffi de 5 % de glucose, en effet, dans le mélange pour voir tomber le point de fusion de 189°2 à 175°8, c'est-à-dire de 14°. Mais l'examen de la courbe de fusibilité permet de faire une intéressante constatation (voir graphique I). En arrondissant les angles formés par la rencontre des droites joignant les différents points de fusion, on voit que cette courbe se compose de trois

branches séparées par des points anguleux à 135°6 et à 134°8, correspondant respectivement aux points de fusion des mélanges 50 saccharose + 50 glucose et 30 saccharose + 70 glucose. Quant à la branche du milieu, elle présente un maximum à 139°8, correspondant au mélange 40 saccharose + 60 glucose. Cette particularité semble indiquer l'existence d'une combinaison définie.

Couple saccharose-lactose.

Point de fusion du saccharose. 189.2
Point de fusion du lactose . . . . . 206 environ

Numéro d'ordre.	Composition du mélange :		Point de fusion.
	Saccharose.	Lactose.	
1	100	0	189.2
2	95	5	184.4
3	90	10	182.2
4	85	15	180.4
5	80	20	180.3
6	70	30	176.4
7	60	40	173.8
8	50	50	176.8
9	40	60	181.2
10	30	70	184.5
11	20	80	191.7
12	10	90	200.1
13	5	95	202.3
14	0	100	206.0

Ici encore, l'addition de lactose au saccharose abaisse progressivement le point de fusion de celui-ci. Mais ici la température de fusion présente un seul minimum : c'est celui qui correspond au mélange renfermant 60 parties de saccharose pour 40 de lactose.

Aussi l'allure de la courbe (voir graphique I) est-elle toute différente de celle du couple saccharose-glucose. Elle se compose simplement de deux branches, dont l'une part du point de fusion du saccharose, l'autre du point de fusion du lactose pour venir se couper au point de fusion du mélange eutectique à 173°8. Il semble donc qu'il ne se forme ici ni combinaisons définies ni mélanges isomorphes.

Couple saccharose-dulcite.

Point de fusion du saccharose. 189.20
Point de fusion de la dulcite 188.80

Numéro d'ordre.	Composition du mélange :		Point de fusion observé.	Point de fusion calculé d'après la règle simple des mélanges.
	Saccharose.	Dulcite.		
1	100	0	189.2	189 20
2	95	5	177.6	189 18
3	90	10	169.7	189.16
4	85	15	170.1	189.14
5	80	20	169.3	189.12
6	70	30	169.0	189.08
7	60	40	169.8	189.04
8	50	50	169.7	189.00
9	40	60	169.4	188.96
10	30	70	169.0	188.92
11	25	75	169.7	188.90
12	20	80	174.1	188.88
13	17.5	82.5	177.9	188 87
14	15	85	178.0	188.86
15	10	90	182 0	188.84
16	5	95	184.7	188.82
17	0	100	188.8	188.80

Les points de fusion de ces mélanges sont surtout intéressants à considérer, parce que les deux éléments composants, saccharose et dulcite, ont des points de fusion identiques (189.2 et 188.8).

Et cependant le point de fusion de ces mélanges est

notablement inférieur à la moyenne des points de fusion des constituants. J'ai inscrit dans la cinquième colonne du tableau ci-dessus les points de fusion calculés par la règle simple des mélanges; on voit qu'ils s'écartent notablement des points de fusion déterminés expérimentalement.

La courbe de fusibilité est encore ici bien intéressante à considérer. Il est malheureusement difficile de l'interpréter sans émettre des hypothèses plus ou moins contestables.

Comme on le voit (graphique I), elle est loin de se confondre avec la droite joignant les points de fusion des sucres à l'état pur. Elle ne présente pas non plus de minimum anguleux correspondant au point de fusion d'un mélange eutectique, comme c'est le cas pour le mélange saccharose-lactose.

Elle montre au contraire trois branches bien marquées, mais la branche du milieu ne présente pas ici de relèvement de la fusibilité pour un mélange quelconque, ce qui serait l'indice de la formation d'une combinaison définie.

Je crois utile de rappeler à ce propos que des faits du même ordre ont été mis en lumière en ce qui concerne la conductibilité électrique de certains alliages métalliques. C'est ainsi que les courbes de conductibilité des alliages or-argent et or-cuivre, tracées d'après les chiffres obtenus dans les anciennes recherches de Matthiesen, présentent un aspect identique à la courbe de fusibilité des mélanges saccharose-dulcite, tracée d'après mes déterminations personnelles. Matthiesen avait tenté d'expliquer cette particularité en admettant l'existence de transformations allotropiques, mais cette conclusion a été contredite plus tard par l'étude des autres pro-

priétés. C'est pourquoi Lechatelier (1) a pensé qu'il était plus exact d'admettre que cette forme particulière des courbes de conductibilité dans le cas des alliages or-argent et or-cuivre devait être attribuée à la production de mélanges isomorphes.

Est-ce à une circonstance semblable que nous devons ici cette forme particulière de la courbe de fusibilité du couple saccharose-dulcite? La chose *a priori* semble très vraisemblable, mais je me contente de l'indiquer aujourd'hui, me réservant de ne tirer une conclusion nette à cet égard que lorsque l'étude des autres propriétés physiques de ces mélanges m'aura montré qu'il en est effectivement ainsi.

Couple mannite-glucose.

Point de fusion de la mannite 169.0
Point de fusion du glucose 144.4

Numéro d'ordre.	Composition du mélange :		Point de fusion.
	Mannite.	Glucose.	
1	100	0	169.0
2	95	5	161.2
3	90	10	157.0
4	80	20	144.3
5	70	30	135.4
6	60	40	134.4
7	50	50	132.9
8	40	60	132.8
9	30	70	132.9
10	20	80	136.1
11	10	90	136.8
12	5	95	139.1
13	0	100	144.4

(1) Lechatelier, *Revue générale des sciences*, 30 juin 1895.

Couple mannite-dulcite.

Point de fusion de la mannite 169.0
Point de fusion de la dulcite 188.8

Numéro d'ordre.	Composition du mélange :		Point de fusion.
	Mannite.	Dulcite.	
1	100	0	169.0
2	95	5	163,6
3	90	10	160.71
4	80	20	158.1
5	70	30	159.2
6	60	40	159.5
7	50	50	159.6
8	40	60	159.2
9	30	70	158.5
10	25	75	161.4
11	20	80	165.6
12	15	85	171.8
13	10	90	180.8
14	5	95	185.2
15	0	100	188.8

Couple glucose-dulcite.

Point de fusion du glucose 144.48
Point de fusion de la dulcite 188.80
Différence des points de fusion des constituants. . 44.32

Numéro d'ordre.	Composition du mélange :		Point de fusion observé.	Point de fusion calculé d'après la règle simple des mélanges.
	Glucose.	Dulcite.		
1	100	0	144.5	144.4
2	95	5	140.7	146.62
3	90	10	139.8	148 84
4	85	15	140.0	151.0
5	80	20	140.9	153.28
6	70	30	140.5	157.72
7	60	40	140.7	162.16
8	50	50	139.0	166.60
9	40	60	140.3	171.04
10	30	70	147.7	175.48
11	25.2	74.8	155.4	177.70
12	20	80	164.7	179.92
13	15	85	171.3	182.14
14	12.5	87.5	176.3	183.57
15	10	90	178.4	184.36
16	5	95	183.9	186.58
17	0	100	188.8	188.8

Couple mannite-saccharose.

Point de fusion de la mannite 169.0
Point de fusion du saccharose 189.2

Numéro d'ordre.	Composition du mélange :		Point de fusion.
	Mannite.	Saccharose.	
1	100	0	169.0
2	95	5	166.5
3	90	10	162.9
4	80	20	157.8
5	70	30	156.5
6	60	40	157.6
7	50	50	155.7
8	40	60	155.6
9	30	70	155.8
10	20	80	156.6
11	10	90	165.7
12	5	95	178.1
13	0	100	189.2

Le graphique II permet de se rendre compte de l'allure des courbes de fusibilité des mélanges mannite-saccharose, mannite-lactose, mannite-dulcite et mannite-glucose. On remarque de suite que ces courbes n'ont plus du tout la régularité de la courbe de fusibilité des mélanges saccharose-dulcite.

On observe chez chacune un certain relèvement de la fusibilité en un point donné de la courbe.

Ce relèvement est surtout bien marqué pour le mélange renfermant 60 parties de mannite pour 40 de saccharose. On l'observe aussi pour le mélange renfermant 40 de lactose et 60 de mannite.

Ce serait donc l'indice de la formation d'une combinaison définie.

J'attirerai encore une fois l'attention sur la similitude d'aspect des courbes de fusibilité du graphique II avec les courbes de conductibilité électrique de certains alliages capables de former des composés définis : les alliages étain-or et étain-cuivre en particulier. Ces courbes présentent également un léger relèvement de la conductibilité correspondant aux alliages de formule $SnCu^5$ et SnAu. Cette même particularité dans l'allure des courbes de fusibilité s'observant pour certains mélanges de sucres, il m'a semblé que ce rapprochement était digne d'attirer l'attention.

En résumé, il résulte des nombreux essais entrepris sur les mélanges binaires, que l'addition d'une petite quantité d'un sucre à un autre, plus fusible ou moins fusible que lui, a pour résultat d'abaisser notablement le point de fusion de cet autre.

Quelle que soit la différence entre les points de fusion des éléments composants, l'addition d'une petite quantité d'un élément peu fusible à un autre qui l'est beaucoup plus, abaisse toujours le point de fusion du mélange à une température inférieure à celle de la fusion de l'élément le plus fusible.

Lorsque les éléments composants ont, à l'état de pureté, des points de fusion identiques ou très rapprochés, le point de fusion d'un mélange binaire de sucres est toujours notablement inférieur au point de fusion de

l'élément le plus fusible qui y entre. Dans aucun cas, il ne lui a été supérieur.

Quelle qu'ait été la différence entre les points de fusion des constituants, le point de fusion d'un mélange quelconque n'a jamais été égal à la moyenne des points de fusion des éléments qui y entrent.

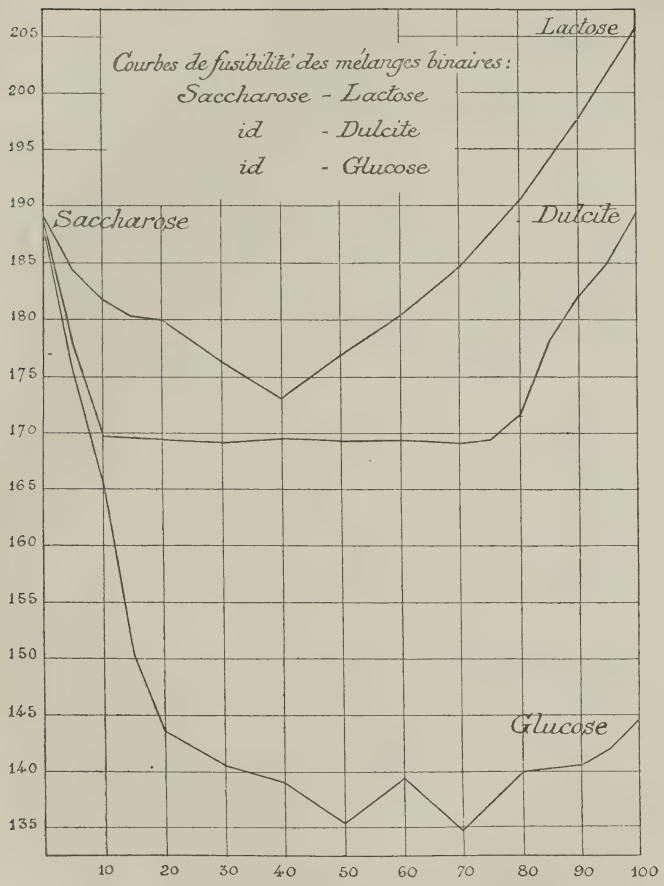
En ce qui concerne les courbes de fusibilité des mélanges binaires, elles semblent indiquer pour tous les couples étudiés, sauf pour les couples saccharose-lactose et saccharose-dulcite, que les sucres mêlés peuvent former des combinaisons définies. Tous ces mélanges se comporteraient donc comme le font ceux d'entre les alliages métalliques chez lesquels on note également la formation de composés définis.

Quant au couple saccharose-lactose, il se comporte d'une façon différente : la courbe de fusibilité n'étant plus composée que de deux branches, dont l'une part du point de fusion du saccharose, l'autre du point de fusion du lactose, pour être limitées l'une et l'autre à leur point d'intersection commun, correspondant au point de fusion du mélange eutectique.

Je me contente pour aujourd'hui d'exposer les résultats obtenus pour les mélanges binaires.

Il me reste cependant encore à essayer de dégager, de l'aspect des surfaces de fusibilité des mélanges ternaires de sucres, quelques notions sur la composition de ces mélanges. Ce sera l'objet d'une prochaine note.

Il sera aussi utile de voir si les autres propriétés physiques des mélanges de sucres contribueront à confirmer ces vues sur la constitution des mélanges binaires et ternaires. C'est une question sur laquelle je compte revenir dans la suite.


Courbes de fusibilité des mélanges binaires :
Saccharose - Lactose
id - Dulcite
id - Glucose
Lactose
Saccharose
Dulcite
Glucose
205
200
195
190
185
180
175
170
165
160
155
150
145
140
135
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100

GRAPHIQUE I.

OUVRAGES PRÉSENTÉS.

Fraipont (*Julien*). Contribution à l'étude de la faune du Calcaire carbonifère de Belgique. I. Échinodermes du marbre noir de Dinant (Viséen inférieur *V1a*). Liége, 1904; extr. in-4° (11 p. et 5 pl.).

Van der Mensbrugghe (*G.*). Sur l'élasticité développée dans les jets d'eau. Bruxelles, 1904; in-8° (11 p.).

Nuel (Le *Dr*). La vision. Paris, 1904; pet. in-8° (376 p.).

Micheels (*Henri*). Notes de botanique appliquée. Sur les poils écailleux des Broméliacées. 1904; extr. in-8° (3 p.).

Breydel (*A.*). Nature intime de l'électricité, du magnétisme et des radiations. Bruxelles, 1904; in-8° (100 p.).

Ministère de l'Industrie et du Travail. Les industries à domicile en Belgique, volume VI : Les industries de la confection de vêtements pour hommes et de la cordonnerie à Binche; par Charles Genart. — L'industrie du tissage de la laine dans le pays de Verviers et dans le Brabant wallon; par Albert Thonnar. — L'industrie du tissage de coton en Flandre et dans le Brabant; par Georges Bealse. Bruxelles, 1904; in-8°.

Bruxelles. *Commission de la Belgica.* Expédition antarctique belge. Résultats du voyage du S. Y. *Belgica*, en 1897-1899, sous le commandement de A. de Gerlache de Gomery. Rapports scientifiques. In-4°.

Zoologie. Bryozoa; by Arthur Waters. 1904 (113 p. et 9 pl.). — Nématodes libres; par le Dr J.-G. De Man. 1904 (51 p. et 11 pl.).

— *Service géologique de Belgique. Ministère de l'Industrie et du Travail.* Bibliographia geologica; par Michel Mourlon avec la collaboration de G. Simoens. 1904, série A, tome VIII.

État indépendant du Congo. Annales du Musée. Botanique, 5e série : Études de systématique et de géographie botanique sur la flore du Bas- et du Moyen-Congo; par Ém. De Wildeman, vol. I, fasc. 1 et 2. In-4°.

—

Lukowski (*Marian*). Die Erde, ein Elektromagnet oder das Gesetz des schroffen Ueberganges. Dortmund, 1904; in-8° (16 p.).

Zurhellen (*Walther*). Darlegung und Kritik der zur Reduktion photographischer Himmelsaufnahmen aufgestellten Formeln und Methoden. Francfort-s/M., 1904; pet. in-8° (96 p.).

—

Hinrichs (*Dr Gustave*). The great Iowa meteor. New-York, 1875; extr. in-8° (11 p.).

— A celestical messenger; or, fiery stones hurted from heaven. 1891; extr. in-8° (12 p.).

— First course in microchemical analysis. With atlas. Saint-Louis, 1904; in-8° (156 p.).

— Biographical sketch of Wilhelm von Haidinger. Davenport, 1872; in-8° (16 p.).

Rio de Janeiro. *Observatorio*. Annuario. 1904.

Buenos Ayres. *Museo nacional*. Anales, tome II. 1903.

Washington. *Department of Agriculture*. Yearbook, 1903.

— *U. S. Coast and Geodesic Survey*. Report. 1903; in-4°.

— *U. S. Naval Observatory*. Publications, vol. V. 1903.

—

France.

Albert Ier (*S. A. Mgr*). Résultats de ses campagnes scientifiques, fasc. XXVI. 1904.

Ministère de l'Instruction publique. Carte photographique du Ciel. Zone + 16 : feuilles 9, 69, 84, 104, 112, 117, 127, 129, 130, 147, 148, 165; zone + 20 : feuilles 106, 108; zone + 22 : feuilles 92, 96, 126. (Observatoire de Toulouse.) Zone + 5 : feuilles 5, 64, 67, 75, 78, 84, 85, 90, 134, 135; zone + 7 : feuilles 66, 67, 68, 85; zone + 9 : feuilles 66, 83, 84, 91, 100, 101, 103, 112, 119, 126, 148, 149, 150, 151.

Besançon. *Académie des sciences.* Procès-verbaux et Mémoires. 1903.

Caen. *Académie des sciences.* Mémoires. 1903.

Bordeaux. *Société des sciences physiques et naturelles.* Mémoires, tome III.

Dunkerque. *Société dunkerquoise.* Mémoires. 1903.

Rouen. *Académie des sciences.* Précis analytique. 1902-1903.

—

Martini (*Tito*). Sulle varie ipotesi intese a spiegare l'effetto Pouillet (calore svolto nel bagnare le polveri e i corpi porosi). Venise, 1904; extr. in-8° (36 p.).

Borredon (*Gius.*). La grande scoperta del secolo XX o la soluzione dell'immenso problema dell'ignito, ovvero la falsita del sistema di Newton e la scoperta del vero sistema del mondo. Naples, 1904; in-8° (15 p.).

—

Harlem. *Fondation Teyler.* Catalogue de la Bibliothèque, tome III. 1904.

Batavia. *Observatory.* Observations, vol. XXV. Regenwaarnemingen. 1902.

—

Jägerskiold (*L.-A.*). Results of the swedish zoological Expedition to Egypt and the White Nile, 1901, part 1. Upsal, 1904; in-8°.

Cleve (*P.-T.*). A treatise on the phyloplankton of the Atlantic and its tributaries and on the periodical changes of the plankton of Skagerak. Upsal, 1897; gr. in-4° (27 p., tableaux et planches).

STOCKHOLM. *Académie royale des sciences.* Observations météorologiques. 1902; in-4°.

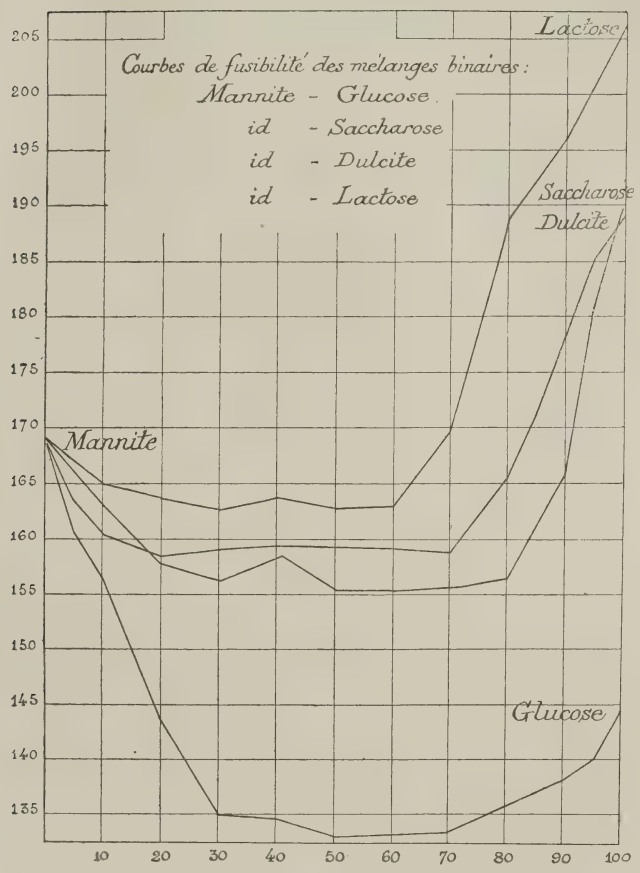
HELSINGSFORS. *Institut météorologique.* Observations, vol. XVI et XVII. — État des glaces et des neiges en Finlande. 1892-1893 (Axel Heinrichs).

SAINT-GALL. *Naturwissenschaftliche Gesellschaft.* Jahrbuch. 1901-1902.

NEUCHATEL. *Société des sciences naturelles*, tome XXVIII. 1899-1900.

COPENHAGUE. *Conseil permanent international pour l'exploration de la mer.* Publication de circonstance : n° 12. Catalogue des poissons du Nord de l'Europe, avec les noms vulgaires dont on se sert dans les langues de cette région. 1904 (75 p.).

— N° 13*a*. Die Ostzee-Fischerei in ihrer jetzigen Lage. (Erster Teil.) I. Uebersicht über die Seefischerei in den dänschen Gewässern innerhalb Skagens im Auftrag von Dr C.-G.-Joh. Petersen; bearbeitet von Andreas Otterström. II. Uebersicht über die Seefischerei Schwedens an den Süd- und Oestlichen Küsten dieses Landes; bearbeitet von Dr Filip Trybom und Alf. Wollebaek. 1904 (59 p.).



GRAPHIQUE II.

ACADÉMIE ROYALE DE BELGIQUE

BULLETIN

DE LA

CLASSE DES SCIENCES

1904. — N° 8.

CLASSE DES SCIENCES.

Séance du 6 août 1904.

M. Léon Fredericq, directeur.

M. le chevalier Edmond Marchal, secrétaire perpétuel.

Sont présents : MM. P. De Heen, *vice-directeur;* C. Malaise, F. Folie, Jos. De Tilly, Ch. Van Bambeke, G. Van der Mensbrugghe, W. Spring, Louis Henry, M. Mourlon, C. Le Paige, Ch. Lagrange, J. Deruyts, J. Neuberg, A. Lancaster, A. Jorissen, P. Francotte, *membres;* M. Delacre, Aug. Lameere et Th. Durand, *correspondants.*

MM. Dewalque, Errera et Pelseneer écrivent pour motiver leur absence.

CORRESPONDANCE.

M. Lancaster fait hommage des ouvrages suivants :

Le climat de la Belgique en 1902;

Données météorologiques. Résumé des observations météorologiques faites à l'Observatoire d'Uccle en 1903. — Remerciements.

— M. Francotte offre la reproduction photographique de seize feuillets d'un manuscrit d'histoire naturelle, de la Bibliothèque du Vatican, qui date de 1460. — Remerciements. — Voir note ci-après.

— L'Institut vénitien des sciences, des lettres et des arts envoie le programme de ses concours annuels.

— Les travaux manuscrits suivants sont renvoyés à l'examen :

1° *Sur l'action de l'acide formique sur le système musculaire* (avec graphiques); par le Dr Clément, à Lyon. — Commissaires : MM. Masius et Fredericq.

2° *Essai d'un thermomètre à graduation mathématique;* par Lucien Gadeaux, à Ath. — Commissaire : M. Lancaster.

RÉSULTATS DU CONCOURS ANNUEL DE 1904.

M. le Secrétaire perpétuel fait savoir qu'il n'a pas reçu de mémoire en réponse aux questions formant le programme du concours annuel de la Classe pour 1904.

Un anonyme prie la Classe de bien vouloir remettre au 1er août 1905 la date pour la remise des manuscrits en réponse à la question sur *l'hétéroécie chez les champignons parasites*, qui figurait au programme du concours pour 1904, dont le délai pour la remise des manuscrits est expiré le 1er courant. — La Classe s'occupera de cet objet lorsqu'elle arrêtera le programme du concours pour 1905.

NOTE BIBLIOGRAPHIQUE.

Pendant mon séjour à Rome, au mois d'août de l'année dernière, le R. P. Erhle, préfet de la bibliothèque du Vatican, a bien voulu mettre à ma disposition un manuscrit d'histoire naturelle qui porte pour titre : P. Candidi de omnium animantium naturis atque formis nec non rebus memoria et annotatione dignis ad illustrissimus principem Ludovici Conza. Mantue Marchionem liber primus incipit feliciter ; cet ouvrage porte *in fine* la date de 1460. Il contient de très jolies enluminures qui ne paraissent guère avoir subi les injures du temps et dont plusieurs sont d'une grande exactitude scientifique. J'ai été autorisé à reproduire par la photographie l'ouvrage précité : je prie l'Académie d'accepter l'hommage d'un certain nombre de pages choisies parmi les plus intéressantes. Peut-être auront-elles quelque utilité pour renseigner les personnes qui seraient désireuses de se rendre compte de ce qu'était l'étude de la zoologie à l'aurore des temps modernes.

P. Francotte.

RAPPORTS.

Contribution à l'étude de la dissociation des corps dissous (quatrième communication); par Ad. Vandenberghe.

Rapport de M. Louis Henry (1).

« Les recherches et les études qui concernent l'état moléculaire des espèces chimiques ont pour moi un intérêt en quelque sorte personnel. C'est assez dire quelle importance j'ai attachée au mémoire présenté à l'Académie par M. Vandenberghe et toute l'attention que j'ai mise à en prendre connaissance.

Sans vouloir contester le mérite ni les conclusions de ses déterminations expérimentales, je ne puis, comme mon savant confrère, proposer à la Classe de décider dès à présent l'insertion du travail de M. Vandenberghe dans le *Bulletin*. Je crois que, dans l'intérêt même de l'auteur, ce travail devrait lui être renvoyé. Voici pourquoi.

Les expériences de M. Vandenberghe concernent, comme l'a déjà dit M. Spring, l'*œnanthol* dans sa forme *polymérisée*. Ce polymère aldéhydique a pris naissance dans mon laboratoire et en quelque sorte sous mes yeux, en 1875. M. Bruylants s'occupait alors de recherches sur les *hydrocarbures acétyléniques*, correspondant aux aldéhydes, pour constituer la dissertation nécessaire, à cette époque déjà, pour obtenir le grade non officiel de

---

(1) Voyez le *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique* (Classe des sciences), nº 7, p. 818, 1904.

Ce rapport a été lu à la Classe dans sa séance du 16 avril 1904.

docteur en sciences chimiques devant la Faculté des sciences de Louvain. Au cours de ces recherches et par suite d'un heureux hasard, fort explicable d'ailleurs, les polymères des aldéhydes *valérique* et *œnanthylique* se sont présentés à lui. Il a eu le mérite et l'intelligence de les remarquer.

L'aldéhyde œnanthylique se polymérise très aisément en se transformant en une masse solide, constituée de paillettes cristallines fusibles, dit M. Bruylants, à 52°.

Les observations de M. Bruylants ont été plus tard confirmées par un chimiste anglais fort connu, M. W. Perkin.

M. Vandenberghe n'a pas réussi à obtenir ce polymère à l'état cristallin. Je m'étonne de son insuccès.

A la lecture de son travail, je me suis mis, disposant encore de quelques centimètres cubes d'œnanthol, provenant de Kahlbaum, à en déterminer la polymérisation dans les conditions indiquées. Après trois ou quatre jours, à la température ordinaire, la transformation était réalisée et complète. Au lieu du liquide originel, j'avais une masse de consistance butyreuse, formée de petites lamelles cristallines. L'éther, qui dissout aisément ce polymère, permet de le séparer du carbonate potassique qui en a déterminé la formation. L'évaporation spontanée de cette dissolution éthérée fournit le produit cristallin que voici et sur lequel j'attire l'attention de la Classe.

A mon sens, le travail de M. Vandenberghe, et notamment les conclusions qui en sont le résumé, gagnerait singulièrement en précision et en rigueur scientifiques, si ses expériences étaient faites avec ce polymère œnanthylique dans son état normal, c'est-à-dire solide et cristallin, et non, comme cela a été le cas, bien malgré

l'auteur sans doute, sur ce polymère dans un état anormal, violent en quelque sorte et tourmenté, comme l'état de surfusion.

J'ai la confiance que de nouveaux essais fourniront certainement à M. Vandenberghe ce composé tel qu'il est en réalité et tel qu'il s'est présenté à l'origine, à son auteur et dans la suite à d'autres chimistes qui s'en sont occupés. Peut-être ne lui a-t-il manqué qu'un germe pour déterminer l'état cristallin dans les liquides épais qu'il a eus à sa disposition.

J'aimerais à ajouter encore un mot à ces observations.

Le travail de M. Vandenberghe a ramené mon attention sur les polymères aldéhydiques du groupe aliphatique. A partir de l'étage C_5, ces corps ont été laissés dans une sorte d'abandon et sont, en général, fort peu connus. Leur étude mériterait cependant, à mon sens, d'être reprise, et aujourd'hui que le commerce fournit un bon nombre d'aldéhydes de ce genre, elle pourrait l'être dans des conditions avantageuses, en tout cas beaucoup plus aisément qu'autrefois. Cette étude aurait pour résultat de nous édifier sur la véritable nature de ces polymères, qui me paraît n'être pas toujours la même, et de nous révéler la loi de leur fusibilité relative, qui semble devoir offrir un caractère spécial. Peut-être y aurait-il là matière pour une question de concours. Quoi qu'il en soit, j'ai l'intention de désigner cet objet de recherches à l'attention des élèves de mon laboratoire. »

Le travail de M. Vandenberghe, sur lequel M. Spring a également émis un avis favorable, figure à la page 821 (*Bulletin* n° 7).

—

Recherches sur la notion de l'individualité chimique à propos de la constitution de la pinacoline; par Maurice Delacre, correspondant de l'Académie.

Rapport de M. Louis Henry, premier commissaire.

« Envisagée dans son résultat, l'hydrogénation de l'acétone $H_3C - CO - CH_3$ constitue, tant au point de vue objectif qu'au point de vue doctrinal, un fait capital dans l'histoire du développement si remarquable de la chimie organique dans la seconde moitié du XIXe siècle. Complète, cette hydrogénation fournit l'*alcool isopropylique*, l'alcool secondaire « *par excellence* » selon le langage de Hofmann. Incomplète, elle donne lieu, à la suite d'une condensation bi-moléculaire, à la *pinacone*

$$(H_3C)_2 - \underset{\underset{OH}{|}}{C} - \underset{\underset{OH}{|}}{C} - (CH_3)_2,$$

le premier et le type des *glycols bi-tertiaires continus*, composé éminemment intéressant par son aspect extérieur et sa manière d'agir.

Dans diverses circonstances, et notamment sous l'action de l'acide sulfurique, la pinacone perd les éléments d'une molécule d'eau, en se transformant en un produit nouveau, liquide mobile, fort odorant, bouillant à 106°, auquel on a donné le nom de *pinacoline*, répondant à la formule moléculaire $C_6H_{12}O$.

Facile à obtenir et à purifier, la pinacoline a fait, par elle-même et par les dérivés nombreux auxquels elle donne naissance, l'objet des études d'un grand nombre

de chimistes, dont plusieurs occupent un rang élevé dans la science. J'aime à citer parmi ceux qui ne sont plus, Friedel et Butlerow.

On le sait, les combinaisons en C_6 occupent une place à part, tant dans le groupe des composés *cycliques* que dans celui des composés à chaîne carbonée ouverte, ou comme l'on dit, des composés *aliphatiques*. Je ne pense pas que dans celui-ci il se rencontre un autre ensemble de combinaisons aussi important que celui dont la pinacone, et spécialement la pinacoline, sont les pivots, au point de vue de l'*isomérie* et des modifications, parfois profondes, que subissent, quant à leur structure intime, les molécules carbonées, et même les *noyaux polycarbonés* qu'elles renferment, au milieu des réactions chimiques où elles sont engagées. Tant il est vrai de dire, selon la formule que j'ai l'habitude d'employer et que je crois juste, que *l'hydrogène est le ciment des noyaux polycarbonés*. On remarquera, en effet, que dans les composés en C_6 qui nous occupent en ce moment, l'hydrogène fait totalement défaut dans le système bi-carboné initial $\geqslant C - C \leqslant$, constitué par l'atome médian des deux molécules primitives d'acétone $H_3C - CO - CH_3$ condensées dans la *pinacone*

$$(H_3C)_2 - \underset{\underset{OH}{|}}{C} - \underset{\underset{OH}{|}}{C}\,(CH_3)_2.$$

En ce qui concerne ce *noyau hexa-carboné* C_6, la question à résoudre est toujours celle qui s'est posée dès l'origine et que Friedel et Butlerow ont résolue, en ce qui concerne la *pinacoline*, en deux sens opposés, ou pour parler plus exactement, différents. Quelle en est la structure dans les composés pinacoliques et quels sont les rapports

de liaison des divers atomes C qui le constituent avec les autres éléments de la molécule totale? Ce noyau C_6 est-il *symétrique* autour du système bi-carboné C - C des deux molécules acétoniques condensées, formant ainsi un assemblage doublement *dichotomique* $\begin{matrix}C\\C\end{matrix}>C-C<\begin{matrix}C\\C\end{matrix}$ comme Friedel le prétendait, ou bien est-il *dissymétrique*, suivant l'opinion de Butlerow, constituant le système trichotomique $C-C-C\left\langle\begin{matrix}C\\C\\C\end{matrix}\right.$, à ramure *trichotomique* unique?

Selon Friedel, la *pinacoline* $C_6H_{12}O$ constitue un *oxyde glycolique*, l'*oxyde d'éthylène* $\underset{\underset{O}{\smile}}{H_2C-CH_2}$ *tétraméthylé*

$$\begin{matrix}H_3C\\H_3C\end{matrix}>\underset{\underset{O}{\smile}}{C-C}<\begin{matrix}CH_3\\CH_3\end{matrix}$$

Selon Butlerow au contraire, c'est une *cétone*, l'acétone bi-méthylique *triméthylée* 1-1-1

$$H_3C-CO-C-(CH_3)_3.$$

Dans le système de Friedel, le principe fondamental de la stabilité des édifices moléculaires au milieu des réactions chimiques et notamment de leurs résidus fractionnaires au milieu des réactions synthétiques, est sauf; mais l'opinion de Butlerow y constitue une exception formelle, car elle oblige à admettre, lors de la transformation de la pinacone en pinacoline, une modification dans les rapports de liaison du carbone avec lui-même et avec l'oxygène.

J'ai tenu à faire cette observation, parce qu'elle est

destinée à mettre en relief la portée et l'importance, au point de vue général, d'une question où l'on serait tenté, de prime abord, de ne voir qu'un fait particulier de l'ordre ordinaire et une divergence de vues sur la nature d'un corps comme il s'en présente à tout instant dans la chronique chimique.

On a vu des preuves irréfragables de la vérité de l'opinion de Butlerow dans la transformation de la pinacoline par oxydation en *acide triméthyl-acétique* $(CH_3)_3 - CO(OH)$ et sa formation synthétique par la méthode de Freund, réaction du zinc-méthyle sur le *chlorure triméthyl-acétique* $(H_3C)_3 - C - COCl$. Néanmoins, ces réactions n'ont jamais paru suffisantes à Friedel pour l'amener à renoncer définitivement à sa manière de voir, surtout en ce qui concerne certains dérivés de la pinacoline.

M. Delacre a eu l'avantage d'achever son éducation chimique dans le laboratoire et sous la direction de M. Friedel. Ce grand maître aimait à s'entretenir avec ses disciples des questions scientifiques qui le touchaient personnellement. Il n'est pas étonnant qu'ayant assisté à ces échanges de vues, notre savant confrère ait été engagé à s'occuper à son tour de cet objet dont il avait appris à si bien connaître le haut intérêt.

Les considérations qui précèdent ont fait ressortir suffisamment, me semble-t-il, l'opportunité et la véritable portée scientifiques de recherches entreprises sur les produits de la condensation double de l'acétone. Elles se reflètent dans le titre même qu'a donné l'auteur à son mémoire pour en déterminer l'objet et le but :

« *Recherches sur la notion de l'individualité chimique à propos de la constitution de la pinacoline.* »

Le mémoire de M. Delacre comprend deux parties : des recherches expérimentales et des conclusions générales qui en sont le résultat au point de vue de la doctrine. Ce résultat est lui-même de l'ordre expérimental, et comme le dit l'auteur, en terminant son travail, « *il doit rester tel* ».

Cette déclaration me fait plaisir et je l'approuve complètement. Le sens en est plus profond qu'il n'apparaît au premier abord. A voir, en effet, l'aspect que présentent de nos jours certains travaux de chimie, particulièrement ceux qui ressortent de la chimie physique et en remplissent les recueils, il semblerait que la chimie a changé de nature et est devenue une science abstraite. Tout en reconnaissant combien peuvent être précieux les services que l'application raisonnable du haut calcul aux phénomènes chimiques est appelée à rendre à la connaissance de ceux-ci, je déplore la tendance et la pratique dont je viens de signaler l'excès. Personne ne devrait oublier que c'est à l'expérience qu'il faut demander des enseignements et qu'elle seule est capable de les fournir, car le calcul que l'on applique aux faits de l'ordre expérimental n'y peut rien ajouter qu'ils ne renferment déjà; il n'est qu'un instrument, parfois puissant sans doute, pour en faire apparaître les rapports, pour en extraire des vérités qui, sans son secours, y demeureraient enfouies et cachées aux regards, avec les conséquences qu'elles entraînent à leur suite.

Mais revenons à la pinacoline et à ses dérivés. Les recherches dont M. Delacre rend compte dans son mémoire constituent une œuvre de grande étendue. A ce qu'il nous apprend, elles sont le fruit de neuf années de

travail assidu, et ont nécessité des quantités de matières vraiment considérables, plus considérables que celles que les chimistes ont habituellement à leur disposition, même dans les travaux faits largement. Il le fallait, eu égard à la nature des faits, parfois si délicats, qui étaient à constater et à établir sur une base expérimentale solide. Environ 3000 kilogrammes d'acétone ont été mis, par portions successives, en réaction. On devine que la quantité de sodium employée pour hydrogéner cette masse acétonique est elle-même énorme. A un moment donné, le laboratoire de notre savant confrère aurait pu sans doute être pris pour une véritable fabrique d'alcool isopropylique. Des recherches de ce genre n'auraient pu être entreprises il y a cinquante ans, car leur réalisation aurait coûté des sommes considérables que n'auraient pu supporter les budgets des laboratoires les plus richement dotés.

Le mémoire lui-même où en sont consignés les résultats, frappe par son extension : il comprend au delà de 200 pages in-4°, d'une écriture fine et serrée, dont la régularité correcte rend la lecture matériellement facile.

Je me persuade qu'en renvoyant à l'examen de commissaires le mémoire de M. Delacre, la Classe n'a pas entendu leur imposer la charge de suivre l'auteur pas à pas dans le développement de ses recherches et de lui en présenter le résumé par chapitres et par paragraphes. J'ai pensé que ce résumé serait fait dans de meilleures conditions par l'auteur lui-même et je l'ai engagé à le présenter à l'Académie, dès sa prochaine séance, pour être inséré dans son *Bulletin* mensuel. Conformément à des prescriptions stipulées dans son règlement général

ou consacrées par la coutume, la Classe a tenu à être renseignée, autrement encore que par son auteur, sur le mémoire qui lui était présenté, avant de l'accueillir dans ses publications. Tels sont surtout la raison d'être et le but des rapports des commissaires dans le cas actuel. Aussi bien, M. Delacre n'est un inconnu ni à l'Académie de Bruxelles, dont il a l'honneur de faire partie depuis déjà onze ans, ni dans le monde des chimistes où ses travaux jouissent d'une estime justement méritée.

Je me bornerai donc à dire en ce moment que le mémoire de notre savant et laborieux confrère, envisagé au point de vue objectif, comprend trois parties fondamentales :

a) La *première* est consacrée à la préparation et aux propriétés générales de la pinacoline;

b) La *seconde* à son chlorure et à son bromure, dérivés de l'action du pentachlorure de phosphore, etc.;

c) La *troisième* à l'alcool pinacolique et à ses dérivés.

M. Delacre explique lui-même l'ordre et le genre de rédaction qu'il a adoptés. Je ne puis mieux faire que de transcrire ici ses propres paroles :

« En rédigeant ce mémoire, j'ai voulu, dit-il, lui con-
» server la forme dans laquelle il s'est développé lui-
» même selon les exigences et les mécomptes du travail
» quotidien. J'ai voulu qu'il reflétât aussi fidèlement que
» possible mes notes de laboratoire. Ce mode de rédac-
» tion a l'inconvénient d'être peu lisible couramment.
» Au reste, un travail de chimie n'est pas fait pour être
» lu, mais pour être étudié, et la forme que j'ai finalement
» adoptée a le précieux avantage de permettre à chacun
» de se rendre compte de la valeur absolue de mes con-

» clusions et de donner à la critique des éléments
» d'appréciation suffisants sans obliger à de nouvelles
» expériences. »

L'auteur a raison de dire qu'un travail de chimie doit être étudié, car pour le suivre dans l'exposé de son œuvre expérimentale, il faut faire une grande dépense d'attention. A ce titre, les explications qu'il donne avec une sincérité pleine d'abandon et de franchise, étaient nécessaires; elles vont au-devant d'observations qui, pour n'affecter directement que la forme, seraient de nature à nuire peut-être au fond lui-même.

Quoi qu'il en soit, cette œuvre nouvelle de M. Delacre se distingue par les qualités que j'ai été habitué à louer dans ses travaux antérieurs. Dans ces recherches inspirées par une pensée élevée et dirigées avec intelligence et sagacité, on constate une préoccupation constante et un soin scrupuleux pour arriver à la précision et à l'exactitude dans les faits. L'auteur veut évidemment inspirer la confiance. On se sent prédisposé à partager ses convictions, si l'on n'y est pas forcé toujours.

Des recherches de cette nature et de cette étendue nécessitent et révèlent un chimiste doué d'autant d'habileté expérimentale que de persévérance et même d'opiniâtreté. Je dirai qu'à mon sens elles font grand honneur à celui qui, les ayant entreprises, a su, au prix d'efforts dont les chimistes seuls sont à même de mesurer la puissance, sinon les mener à bonne fin en épuisant la question, du moins les porter aussi loin en avant et en assurer la fécondité.

Il m'est agréable d'adresser à cette occasion mes félicitations à M. Delacre, et en les lui exprimant, je crois

accomplir un véritable devoir scientifique. La chimie pure est un domaine où le travail, toujours délicat, est souvent malaisé et pénible; les succès que l'on y remporte sont chèrement achetés. Le nouveau confrère que l'Académie m'a adjoint dans cette circonstance et dont, je le rappelle volontiers, j'ai eu à louer souvent ici les remarquables travaux, sait tout cela par son expérience personnelle. J'ai la confiante certitude que la Classe, partageant aussi cette conviction, voudra bien s'associer à mes paroles pour rendre hommage à une œuvre qui témoigne si honorablement de l'activité de la science chimique dans notre pays.

Dans un dernier chapitre intitulé : « *Conclusions générales* », l'auteur résume, au point de vue doctrinal, les faits particuliers qu'il a recueillis en si grand nombre au cours de ses longues et patientes recherches. Mon attention a été spécialement attirée sur les propositions générales suivantes que je crois utile de transcrire ici :

1° A la *pinacoline* $C_6H_{12}O$ se rattachent deux séries de dérivés, dont elle est le point de départ, différents quant à la structure de leur noyau hexa-carboné C_6 :

a) Des dérivés de type *symétrique*, l'alcool *pinacolique*, $C_6H_{14}O$, produit de l'action du sodium, et tous les corps qui se rangent autour de lui;

b) Des dérivés de type *dissymétrique*, les chlorures pinacoliques $C_6H_{12}Cl_2$, etc., produit de l'action du pentachlorure de phosphore, avec l'ensemble des composés que l'on en peut déduire.

2° Le type *dissymétrique*, dans les dérivés de l'*alcool pinacolique* secondaire, passe aisément au type *symétrique;* mais l'inverse n'a pas lieu avec la même facilité.

On voit ainsi que l'auteur était établi sur un sol fort mouvant, à certains points de vue, et au milieu de combinaisons où les remaniements dans l'édifice moléculaire sont aisés et fréquents, sa grandeur quant au carbone restant la même.

Des faits de ce genre se constatent dans d'autres régions encore de l'empire du carbone, notamment dans le groupe du camphre, ce sphinx de la chimie organique, mais nulle part ils n'apparaissent dans les mêmes conditions de simplicité et d'évidence que dans les dérivés en C_6 du groupe de la *pinacoline;* c'est que ces dérivés se rattachent aisément à deux hydrocarbures non saturés, en C_6 comme eux-mêmes, de structure bien connue et nettement caractérisés, le *tétraméthyl-éthylène* $(H_3C)_2\,C = C\,(CH_3)_2$, de *type symétrique*, et le *triméthyl-allylène* $(H_3C)_3\text{-}C \equiv CH$, de *type dissymétrique*. La raison demande que les questions soient étudiées d'abord là où elles se présentent dans leurs éléments les plus simples et où par conséquent la solution des problèmes qu'elles soulèvent est la plus aisée. Lorsqu'on leur a reconnu ces caractères, les choisir et en faire l'objet de recherches, c'est faire preuve de tact et de bon sens scientifiques. Le travail de M. Delacre tire de ces circonstances un intérêt et un attrait que l'on aurait tort de méconnaître.

A la suite de ses constatations expérimentales, M. Delacre s'est fait une conception toute personnelle de la nature du composé qui est le pivot de son travail, la *pinacoline*. Sans lui contester son caractère d'individualité, il la regarde comme constituée, dans son état naturel, de molécules des deux types, symétrique et dissymétrique, en nombre inégal, dans un état d'équilibre tendant sans

cesse à se rétablir. C'est un mélange, mais un mélange d'un genre spécial et peut-être même nouveau.

Je ne puis m'empêcher de faire remarquer à cette occasion combien la notion de l'*isomérie* s'est modifiée en s'étendant, depuis l'époque déjà reculée, puisqu'elle remonte à 1831, où Berzélius l'introduisit dans la science. Laissons de côté l'*isomérie dans l'espace*, pour nous en tenir à l'*isomérie chimique* proprement dite, quelle distance n'y a-t-il pas entre l'isomérie à *variétés stables* d'autrefois, et l'isomérie à *variétés mobiles* ou la *tautomérie* d'aujourd'hui? Et voilà que l'on semble vouloir faire faire encore un pas en avant à cette idée de la mobilité des édifices moléculaires!

Alors que, il y a une bonne cinquantaine d'années, j'étudiais la *physique* qui, soit dit en passant, ne ressemblait guère en ce temps-là à la physique de nos jours et spécialement à celle de notre savant confrère M. De Heen, j'entendais parler de l' « *équilibre mobile de la chaleur* ». Je lus un peu plus tard dans les écrits de Williamson, qui à cette époque contribua si puissamment à établir et à préciser la notion de la *molécule* dans la chimie organique, une conception d'un genre analogue appliquée aux corps composés. C'est ce qu'à la suite de ses études sur le phénomène de l'*éthérification sulfurique*, il appelait l'*équilibre mobile de la matière*. Mais il ne s'agissait, si mes souvenirs sont exacts, dans la pensée de l'éminent chimiste anglais dont la science déplore la perte récente, que des migrations d'éléments autres que le carbone, notamment de celles de l'oxygène, entre les molécules hétérogènes amenées en conflit réactionnel. Aujourd'hui, avec M. Delacre, cette idée d'un équilibre moléculaire

mobile s'applique aux noyaux carbonés eux-mêmes, d'un composé individuel. Certes l'idée paraîtra originale à tous ceux qui s'occupent de la physique moléculaire et en suivent les évolutions. A ce titre, comme à d'autres encore, elle mérite d'être prise en considération. On peut la trouver mystérieuse, mais la science de notre temps aime, semble-t-il, les mystères. Quant à moi, je ne trouve pas l'*équilibre mobile* plus mystérieux que les « *ions* » d'Arrhénius qui ont fait une si brillante carrière. Quoi qu'il en soit, je veux laisser à M. Delacre tout le mérite de sa nouvelle conception en lui en laissant toute la responsabilité. Ses épaules sont d'ailleurs assez robustes, scientifiquement parlant, pour la supporter allègrement.

Le moment est arrivé de conclure. Le mémoire de M. Delacre constitue, à mon sens, une contribution importante à l'étude des combinaisons aliphatiques et de certaines questions actuelles de chimie générale. J'ai la certitude qu'il sera accueilli avec une faveur marquée dans le monde des chimistes, j'entends de ceux qui s'occupent de la chimie scientifique et en suivent les progrès avec attention.

Cela étant, j'ai l'honneur de proposer à la Classe d'en décider l'impression dans ses *Mémoires* in-8°.

Ce mémoire me paraît assez étendu pour constituer à lui seul un volume. Il inaugurera dignement la série nouvelle des mémoires de ce format, consacrée exclusivement à la Classe des sciences de l'Académie royale de Belgique. »

—

Rapport de M. Fréd. Swarts, deuxième commissaire.

« Je n'ajouterai que quelques lignes au rapport si important du savant premier commissaire.

Le travail de M. Delacre constitue un document expérimental des plus étendus et des plus intéressants sur la pinacoline. Ses recherches, faites avec un soin minutieux, pourront utilement servir de guide à tous ceux qui voudraient étudier ce corps si intéressant. M. Delacre a mis en œuvre des quantités de matière très considérables, ce qui lui a permis d'étudier avec détails les produits secondaires éventuels des réactions qu'il a exécutées, ce qu'on néglige trop souvent dans les recherches de chimie organique. L'auteur a visé, dans la mesure du possible, à étudier les réactions d'une manière quantitative, et souvent il y est parvenu d'une façon remarquable, quoique la méthode qu'il ait employée ne soit pas de celles qu'on utilise d'habitude dans les recherches quantitatives. En se plaçant, comme le dit le savant premier commissaire, dans des conditions presque industrielles, M. Delacre a pu se servir de la distillation fractionnée avec le succès que donne ce procédé de séparation dans l'industrie. L'auteur emploie aussi généralement cette opération pour identifier les corps qu'il a eus entre les mains. Je dois cependant dire qu'il nous promet de compléter son mémoire en y ajoutant les données que lui ont fournies les déterminations de densité qu'il a faites. Cette addition sera des plus heureuses : la densité d'un corps étant l'une de ses propriétés les plus sensibles à la présence d'impuretés, M. Delacre rendra un réel service à ceux qui voudraient travailler la pinacoline et ses dérivés

en nous donnant les densités des produits purs qu'il a isolés.

Je crois avec M. Henry qu'il n'entre pas dans les vues de l'Académie de demander aux rapporteurs de résumer un travail de cette envergure et je me bornerai à dire quelques mots des conclusions que l'auteur a cru pouvoir tirer de ses recherches expérimentales. Il n'est pas toujours aisé de l'y suivre, car M. Delacre a désiré donner à son mémoire une forme plutôt documentaire que didactique, et la rédaction n'en est d'ailleurs pas définitive. L'auteur compte y apporter de nombreux remaniements, ceux-ci ne devant d'ailleurs pas modifier les documents expérimentaux, qui restent acquis.

Un chapitre de conclusions générales termine le mémoire. Il résulte, pour M. Delacre, de l'ensemble de ses recherches que la pinacoline ne répond d'une manière satisfaisante ni à l'une ni à l'autre des deux formules qu'on a proposées pour elle.

C'est là, au point de vue théorique, le point le plus intéressant du travail de notre savant confrère. Celui-ci conclut que la pinacoline nous fournit un exemple de plus de ces intéressants phénomènes de tautomérie ou desmotropie, dont l'étude a fait de si grands progrès dans ces dernières années.

M. Delacre tend à se rallier à l'hypothèse, formulée à plusieurs reprises en ces dernières années, que les corps qui présentent ces curieux phénomènes de desmotropie sont constitués par des systèmes en équilibre. Il se demande cependant si l'existence de deux benzopinacolines n'est pas une objection à cette hypothèse. J'y vois plutôt pour ma part une confirmation aux considérations

théoriques qu'on a émises pour expliquer ces cas particuliers d'équilibre chimique.

Le mémoire de M. Delacre résume une contribution très importante et très soignée à l'étude de la pinacoline prêtant à des déductions théoriques intéressantes.

Aussi je suis heureux de me rallier à l'avis du premier commissaire et de proposer l'impression de ce travail dans les *Mémoires* in-8° de l'Académie. »

La Classe décide l'impression du travail de M. Delacre dans le *Recueil des Mémoires* in-8°.

—

Sur quelques amines à radical alcoolique fluoré (deuxième communication); par F. Swarts.

Rapport de M. W. Spring, premier commissaire.

« Poursuivant ses belles recherches sur les dérivés carbonés fluorés, M. Swarts a obtenu, à présent, la *tétrafluortriéthylamine*, une amine tertiaire liquide, bouillant vers 137°. L'auteur décrit cette substance ainsi que les conditions dans lesquelles elle se forme et celles dans lesquelles on peut la purifier.

J'ai l'honneur de proposer l'insertion de cette nouvelle note dans le *Bulletin* de la séance. »

M. L. Henry, second commissaire, déclare se rallier complètement à cette proposition, laquelle est adoptée par la Classe.

—

Sur la fonction gamma double; par J. Beaupain, ingénieur en chef des mines, docteur ès sciences physiques et mathématiques.

Rapport de M. C.-J. de la Vallée Poussin, premier commissaire.

« Objet du mémoire. — On sait que le développement de sin z en facteurs primaires est le suivant :

$$\sin z = z \prod_{-\infty}^{\infty}{}' \left(1 + \frac{z}{m\pi}\right) e^{-\frac{z}{m\pi}}.$$

Avec la moitié de ces facteurs primaires et une exponentielle, on forme l'inverse de la fonction $\Gamma(z)$. En effet,

$$\frac{1}{\Gamma(z)} = z e^{Cz} \prod \left(1 + \frac{z}{m}\right) e^{-\frac{z}{m}}.$$

Il était naturel de chercher une généralisation de la fonction Γ dans un mode de partage analogue des facteurs primaires de la fonction $\sigma(z)$ de Weierstrass. Celle-ci a pour expression :

$$\sigma(z) = z \prod \prod{}' \left(1 + \frac{z}{\Omega}\right) e^{-\frac{z}{\Omega} + \frac{z^2}{2\Omega^2}},$$

où l'on a posé $\Omega = m\omega_1 + n\omega_2$ et où le produit double s'étend à tous les couples de valeurs entières, positives, nulles ou négatives de m, n, sauf le seul couple (0,0) (ce que rappelle l'accent). Les quantités ω_1 et ω_2 sont deux nombres dont le rapport doit être supposé imagi-

naire pour que le produit soit convergent. On les appelle les *périodes* de $\sigma(z)$.

La fonction $\sigma(z)$ peut être considérée aussi comme fonction des périodes ω_1 et ω_2. Considérons-la comme fonction de ω_1, ω_2 restant fixe. Menons par l'origine une droite indéfinie passant par le point fixe ω_2 et nommons cette droite la *coupure* k; cette coupure partage le plan en deux parties. Si nous faisons maintenant varier ω_1, comme le rapport $\omega_2 : \omega_1$ doit rester imaginaire, ω_1 ne pourra pas traverser la coupure k; la fonction σ de ω_1 n'est donc *définie par continuité* que d'un seul côté de la coupure k, et par conséquent, il y a, en réalité, *deux fonctions analytiques différentes* σ *de* ω_1 dans le plan, une de chaque côté de la coupure. Ainsi s'explique ce résultat bien connu de la théorie de la fonction σ qu'il existe entre les périodes ω_1 et ω_2 des relations analytiques différentes de chaque côté de la coupure k ou, ce qui revient au même, selon le signe de la partie imaginaire du quotient $\omega_2 : \omega_1$. On va voir bientôt l'importance de cette remarque.

Proposons-nous maintenant de former une fonction que nous appellerons la fonction Γ double en ne prenant que le quart des facteurs primaires de $\sigma(z)$ et en y ajoutant un facteur exponentiel. Nous laisserons, par exemple, de côté les facteurs où l'un des nombres m ou n ou tous deux sont négatifs et nous ajouterons une exponentielle qui n'élève pas le genre de la fonction. Nous formerons ainsi une *fonction* Γ *double* que nous désignerons par Γ_2 :

$$\Gamma_2(z) = z e^{\gamma_{21}\frac{z^2}{2} + \gamma_{22} z} \Pi \Pi' \left(1 + \frac{z}{\Omega}\right) e^{-\frac{z}{\Omega} + \frac{z^2}{2\Omega^2}},$$

le double produit ne s'étendant plus maintenant qu'aux

valeurs positives ou nulles de m, n. Les coefficients γ_{21} et γ_{22} sont des constantes par rapport à z, mais peuvent dépendre des périodes. On conçoit que la plus ou moins grande simplicité des formules dépendra de la manière de choisir ces coefficients. On devine aussi que les propriétés de Γ_2 rappelleront celles de Γ.

L'idée très simple et très naturelle dont je viens d'indiquer le principe a été développée dans un mémoire étendu par F. W. Barnes (*). M. Beaupain s'est proposé de faire connaître les résultats auxquels est arrivé M. Barnes, mais en reprenant les démonstrations sous une forme personnelle.

C'est par M. Beaupain que j'ai donc eu connaissance des formules de M. Barnes, et j'ai été immédiatement frappé par un vice de forme évident de certaines d'entre elles.

En effet, certaines relations entre les périodes ω_1 et ω_2 devaient changer de forme analytique quand on y remplaçait ω_1 par $-\omega_1$ ou ω_2 par $-\omega_2$. Mais ce fait, parfaitement explicable (comme nous l'avons vu tout à l'heure) quand il s'agissait de $\sigma(z)$, ne peut plus se justifier pour la fonction Γ double. On le reconnaît immédiatement. Le produit infini qui définit Γ_2 ne cesse de converger que *si le rapport* $\omega_2 : \omega_1$ *est réel et négatif*. Donc, si l'on considère Γ_2 comme fonction de ω_1 et qu'on mène par l'origine une demi-droite passant par le point fixe $(-\omega_2)$, demi-droite que nous pouvons appeler la *coupure* $(-\omega_2)$, la variable ω_1 ne pourra pas traverser cette demi-droite, mais celle-ci ne partage plus le plan

(*) *Philosophical Transactions*, série A, vol. 196, pp. 265-387.

en deux parties, et par conséquent, la variable ω_1 peut décrire tout le plan sans traverser la coupure. Il n'y a donc plus qu'une seule fonction analytique de ω_1 dans tout le plan. Par suite, l'existence de systèmes analytiques différents dans des régions différentes du plan est contradictoire.

M. Beaupain a tenu compte de cette observation, et le mémoire qu'il nous présente aujourd'hui apporte donc sur ce point d'importantes corrections à celui de M. Barnes.

Toutefois, je ne me serais pas rallié aussi facilement que lui aux définitions et aux idées de M. Barnes; et, obligé que je suis de réserver ma manière de voir, on voudra bien excuser la longueur de ce rapport.

Je vais reprendre aussi brièvement que possible les définitions de M. Beaupain.

Fonction Γ simple (chapitre Ier). — M. Beaupain définit la fonction Γ_1 ou fonction Γ simple par l'équation (que j'appellerai *fondamentale*)

$$\text{(I)} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad D_z^2 \log \Gamma_1(z|\omega) = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{1}{(z+m\omega)^2}$$

et il détermine les deux constantes d'intégration par les *conditions* (que j'appellerai *accessoires*)

$$\text{(II)} \quad . \quad . \quad . \quad \lim_{z=0} z\Gamma_1(z) = 1, \qquad \Gamma_1\omega = 1.$$

J'observe que la fonction Γ_1 se ramène immédiatement à l'Eulérienne ordinaire Γ par la relation

$$\text{(III)} \quad . \quad . \quad . \quad \Gamma_1(z|\omega) = \frac{1}{\omega} e^{z\frac{\log\omega}{\omega}} \Gamma\left(\frac{z}{\omega}\right);$$

donc les calculs que fait M. Beaupain dans son premier chapitre ne peuvent revendiquer d'autre intérêt que celui de servir d'introduction à ceux des chapitres suivants. Je ne crois pas non plus qu'ils aient une autre prétention.

Mais la définition de Γ_1 appelle quelques observations, d'autant plus nécessaires qu'elles sont déjà le principe de toutes les suivantes.

Que veulent MM. Barnes et Beaupain en définissant Γ_1? C'est apparemment obtenir une intégrale canonique de l'équation (I), réunissant toutes les simplifications possibles. Le choix, dit M. Beaupain (mais en parlant de Γ_2) à la fin du n° 9, le choix s'impose de lui-même *si l'on ne veut rien sacrifier de la simplicité de la théorie.*

Si l'on se place à ce point de vue, il est clair que la fonction $\Gamma\left(\frac{z}{\omega}\right)$ a tous les avantages sur celle de M. Barnes. C'est une fonction *uniforme* de la période, tandis que Γ_1 est, comme le montre l'équation (III), une fonction *multiforme* de ω présentant des singularités logarithmiques.

Cette complication provient tout entière des conditions accessoires (II) qui, sous une trompeuse apparence de simplicité, *font perdre à l'intégrale le caractère homogène en* z *et* ω de l'équation fondamentale I. A mon sens, les conditions accessoires qui devraient remplacer les conditions (II) sont :

$$\lim_{z=0} z\Gamma_1(z) = 1, \qquad \omega\Gamma_1\omega = 1,$$

et l'on en tirerait

$$\Gamma_1(z|\omega) = \Gamma\left(\frac{z}{\omega}\right) : \omega.$$

Revenons à la fonction Γ_1 de MM. Barnes et Beaupain. A chaque tour décrit par ω autour de l'origine, elle se reproduit multipliée par l'exponentielle

$$e^{\frac{2\pi i z}{\omega}}.$$

Le facteur parasite qui entre dans l'expression de Γ_1 exige, chaque fois qu'il faut déterminer la valeur de Γ_1, une discussion délicate. M. Beaupain ne tarde pas à en rencontrer la nécessité.

Si l'on pose, pour simplifier,

$$\alpha = \frac{1}{\omega}\left[\log\omega - \log\left(-\omega\right)\right],$$

on obtient, par la relation (III),

$$\Gamma_1(z|\omega)\,\Gamma_1(z|-\omega) = \frac{e^{\alpha z}}{\omega^2}\,\Gamma\left(\frac{z}{\omega}\right)\Gamma\left(-\frac{z}{\omega}\right) = \frac{\pi}{\omega}\,\frac{e^{\alpha z}}{z\sin\dfrac{\pi z}{\omega}}.$$

La valeur de α (qui sera de la forme $\pm 2k\pi i$) dépend des logarithmes choisis. M. Beaupain croit pouvoir se tirer d'affaire en attribuant au logarithme une valeur unique qu'il appelle *principale*. Il considère, pour l'obtenir, l'argument de la période ω comme compris entre 0 et 2π. Il en conclut, *à tort*, que α est toujours égal à $-\pi i : \omega$. C'est là un détail. Ce que je veux surtout remarquer, c'est que le choix de M. Beaupain impose au logarithme une *coupure artificielle* sur le demi-axe réel et positif et que sa fonction Γ_1 devient discontinue si ω traverse cet axe. Il sera donc interdit

de traverser cette coupure avec ω, ou bien il faudra ajouter un facteur exponentiel à chaque traversée.

Il est vrai que M. Beaupain ne s'occupe plus de cette coupure dans la suite. J'en conclus qu'il raisonne *par continuité*. Mais il faut alors tenir compte du chemin suivi avec ω, et, faute d'avoir observé cette condition, M. Beaupain est arrivé, au chapitre V de son mémoire, à des résultats complètement inadmissibles.

Fonction Γ double (chapitre II). — Soient ω_1 et ω_2 deux *périodes* dont le rapport ne soit pas réel et négatif. Posons, en abrégé, $\Omega = m\omega_1 + n\omega_2$; la fonction Γ_2 ou fonction gamma double est définie par l'équation

$$(1) \quad . \quad . \quad . \quad D_z^3 \log \Gamma_2(z) = 2 \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(z+\Omega)^3},$$

avec la condition

$$(2) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \lim_{z=0} \frac{\Gamma_2(z)}{z} = 1.$$

La condition (2) laisse encore arbitraires deux des constantes d'intégration. Nous allons voir bientôt comment l'auteur les détermine. Ce choix, dit-il à la fin du n° 9, *s'imposera de lui-même si l'on ne veut rien sacrifier de la simplicité de la théorie.*

Intégrons l'équation (1) et désignons par γ_{22} et γ_{21} les deux constantes d'intégration qui restent encore arbitraires (fonctions modulaires de M. Barnes). On trouve l'expression de Γ_2 en facteurs primaires

$$(3). \quad . \quad \Gamma_2(z) = e^{\gamma_{22}z+\gamma_{21}} \prod \prod' \left(1 + \frac{z}{\Omega}\right) e^{-\frac{z}{\Omega}+\frac{z^2}{2\Omega^2}}.$$

Le produit accentué s'étend à tous les couples de valeurs nulles ou positives (m, n), sauf $(0, 0)$.

MM. Barnes et Beaupain détermineront les constantes γ_{22} et γ_{21} par la condition de faire prendre à $\Gamma_2\omega_1$ et $\Gamma_2\omega_2$ certaines valeurs particulièrement avantageuses. Nous y reviendrons tout à l'heure; mais provisoirement, ces constantes peuvent être quelconques.

Les expressions précédentes convergent, sauf si le quotient $\omega_2 : \omega_1$ est réel et négatif. Appelons donc *coupure* $(-\omega_2)$ la demi-droite partant de l'origine et passant par $-\omega_2$, *coupure* $(-\omega_1)$ la demi-droite analogue pour ω_1. Γ_2 aura, comme fonction de la période ω_1, une *coupure essentielle* $(-\omega_2)$, et comme fonction de la période ω_2, une *coupure essentielle* $(-\omega_1)$. Ces coupures essentielles tiennent à la nature même des fonctions. Elles se distinguent absolument de la *coupure artificielle* dont il a été question tout à l'heure à l'occasion du logarithme.

Intégrons maintenant les deux membres de (1) entre z et $z + \omega_1$ (ce qui simplifie les calculs de M. Beaupain); il vient, en supprimant les termes qui se détruisent au second membre,

$$D^2 \log \frac{\Gamma_2(z + \omega_1)}{\Gamma_2(z)} = D^2 \log \Gamma_1(z|\omega_2),$$

d'où, en intégrant et en opérant de même pour ω_2,

$$(4) \quad . \quad . \quad . \quad \begin{cases} \dfrac{\Gamma_2(z + \omega_1)}{\Gamma_2(z)} = e^{\beta z + \gamma}\Gamma_1(z|\omega_2) \\[2ex] \dfrac{\Gamma_2(z + \omega_2)}{\Gamma_2(z)} = e^{\beta' z + \gamma'}\Gamma_1(z|\omega_1), \end{cases}$$

où $\beta, \gamma, \beta', \gamma'$ sont constants par rapport à z. Leurs valeurs s'obtiennent en posant $z = 0$, $z = \omega_1$ et $z = \omega_2$, ce qui donne

$$(5). \quad . \quad . \quad . \quad e^{\gamma} = \Gamma_2(\omega_1), \qquad e^{\gamma'} = \Gamma_2(\omega_2),$$

$$e^{\beta\omega_2} = e^{\beta'\omega_1} = \frac{\Gamma_2(\omega_1 + \omega_2)}{\Gamma_2(\omega_1)\Gamma_2(\omega_2)}.$$

Il faut donc qu'on ait la relation (m entier)

$$\omega_2\beta - \omega_1\beta' = 2m\pi i,$$

et, si l'on veut que tout soit réel avec ω_1 et $\overline{\omega_2}$,

$$(6) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \omega_2\beta - \omega_1\beta' = 0.$$

Cette relation subsistera aussi pour les valeurs imaginaires, *à la condition de suivre toujours les fonctions par voie de continuité sans traverser de coupure* (ce que M. Beaupain ne devra pas oublier).

Nous arrivons maintenant aux conditions qui vont servir à déterminer les deux dernières constantes arbitraires, en vue d'un maximum de simplicité.

Dans son chapitre III (multiplication de l'argument), l'auteur prouve que les paramètres précédents sont liés par la relation

$$(7). \quad . \quad \frac{\dfrac{\beta\omega_2}{2} + \gamma + \dfrac{1}{2}\log\dfrac{2\pi}{\omega_2}}{\omega_1} = \frac{\dfrac{\beta'\omega_1}{2} + \gamma' + \dfrac{1}{2}\log\dfrac{2\pi}{\omega_1}}{\omega_2}.$$

Les constantes d'intégration nous permettent de dis-

poser de γ et de γ', qui sont les logarithmes de $\Gamma_2\omega_1$ et $\Gamma_2\omega_2$ en vertu des équations (5). Achevons donc la détermination de Γ_2, en posant

$$\left\{\begin{aligned} \gamma &= -\frac{1}{2}\log\frac{2\pi}{\omega_2} \\ \gamma' &= -\frac{1}{2}\log\frac{2\pi}{\omega_1}, \end{aligned}\right.$$

d'où

$$(8) \quad \ldots\ldots \quad \left\{\begin{aligned} \Gamma_2\omega_1 &= \sqrt{\frac{\omega_2}{2\pi}} \\ \Gamma_2\omega_2 &= \sqrt{\frac{\omega_1}{2\pi}}. \end{aligned}\right.$$

L'équation (7) se réduit à $\beta\omega_2^2 - \beta'\omega_1^2 = 0$, ce qui entraîne, à cause de (6),

$$\beta = 0, \qquad \beta' = 0.$$

Les équations (4) prennent ainsi la forme simple

$$\frac{\Gamma_2(z+\omega_1)}{\Gamma_2(z)} = \sqrt{\frac{\omega_2}{2\pi}}\,\Gamma_1(z|\omega_2), \quad \frac{\Gamma_2(z+\omega_2)}{\Gamma_2(z)} = \sqrt{\frac{\omega_1}{2\pi}}\,\Gamma_1(z|\omega_1),$$

et elles sont générales à condition de suivre la variation des fonctions par voie de continuité.

Critique des définitions de M. Beaupain. — Si l'on veut se rappeler ce que je citais tout à l'heure, M. Beaupain croit que le choix qu'il fait des constantes introduites par l'intégration de l'équation (1) est *imposé*

par la raison de simplicité. C'est le moment de nous demander si cela est aussi vrai qu'il le pense.

Je remarque d'abord que ses définitions imposent à Γ_2, considérée comme fonction des périodes, des caractères qui ne me paraissent nullement en rapport avec la préoccupation de simplicité : 1° elles enlèvent à Γ_2 le caractère d'*homogénéité* en z, ω_1 et ω_2 que possède par définition sa dérivée seconde; 2° elles introduisent devant le développement de Γ_2 en facteurs primaires une exponentielle

$$e^{\gamma_{21}z+\gamma_{22}\frac{z^2}{2}}$$

multiforme en ω_1 et ω_2.

Ce caractère multiforme est dû aux singularités logarithmiques que présentent γ_{21} et γ_{22} dans les définitions de l'auteur. Il résulte à première vue des conditions complémentaires (8) que l'auteur se donne, par définition,

$$\Gamma_2\omega_1 = \sqrt{\frac{\omega_2}{2\pi}}, \qquad \Gamma_2(\omega_2) = \sqrt{\frac{\omega_1}{2\pi}}.$$

En effet, $\Gamma_2\omega_1$ et $\Gamma_2\omega_2$ vont changer de signe si ω_1 et ω_2 tournent autour de l'origine. On ne peut d'ailleurs rien objecter des coupures $(-\omega_1)$ et $(-\omega_2)$, car elles n'empêchent pas de faire tourner ω_1 et ω_2 simultanément.

On avouera qu'il est peu satisfaisant, sous prétexte de simplicité, d'imposer à Γ_2 des singularités fonctionnelles qui ne lui sont nullement essentielles. La simplicité obtenue par MM. Barnes et Beaupain me paraît donc chimérique, et derrière elle j'aperçois plutôt une maladresse.

Si j'avais à définir la fonction Γ double, je me propo-

serais, comme première condition, de respecter la simplicité analytique de l'expression primitive

$$D_z^5 \log \Gamma_2 z = \sum\sum \frac{1}{(z+\Omega)^5}.$$

Relativement aux périodes, cette expression ne possède (abstraction faite des pôles) qu'une seule singularité : c'est une coupure sur le demi-axe réel et négatif quand on la regarde comme fonction du rapport τ des périodes. Je n'admettrais pas d'autre singularité non plus dans mon intégrale canonique. Je ne laisserais subsister sous les signes radicaux et logarithmiques que le rapport τ des périodes. Choisissant la détermination réelle avec τ réel et positif, je n'aurais jamais à discuter la détermination à prendre, l'argument de τ restant compris entre $-\pi$ et $+\pi$ à cause de la coupure. J'éviterais ainsi les discussions périlleuses dont MM. Barnes et Beaupain ne paraissent pas avoir toujours vu la clef.

J'ajoute que ce résultat serait très facile à obtenir.

Sans introduire la fonction Γ_1, qui ne sert à rien, je poserais, au lieu des équations (4) écrites plus haut,

$$4^{\text{B}}) \quad . \quad . \quad . \quad \begin{cases} \dfrac{\Gamma_2(z+\omega_1)}{\Gamma_2(z)} = e^{\beta z+\gamma}\,\Gamma\left(\dfrac{z}{\omega_2}\right) \\ \dfrac{\Gamma_2(z+\omega_2)}{\Gamma_2(z)} = e^{\beta' z+\gamma'}\,\Gamma\left(\dfrac{z}{\omega_1}\right). \end{cases}$$

et j'obtiendrais, au lieu des équations (5),

$$(5^{\text{B}}) \quad \Gamma_2\omega_1 = \omega_2 e^{\gamma} \qquad \Gamma_2\omega_2 = \omega_1 e^{\gamma'}.$$

puis

$$\frac{\Gamma_2(\omega_1 + \omega_2)}{\Gamma_2\omega_1 \ \Gamma_2\omega_2} = \frac{e^{\beta\omega_2}}{\omega_2} = \frac{e^{\beta'\omega}}{\omega_1}.$$

Donc, en posant $\tau = \omega_2 : \omega_1$,

$$e^{\beta\omega_2 - \beta'\omega_1} = \frac{\omega_2}{\omega_1}, \qquad \beta\omega_2 - \beta'\omega_1 = \log\tau$$

ce que j'écrirais (pour la symétrie)

$$(6^{\text{B}}). \quad . \quad . \quad . \quad \beta\omega_2 - \frac{1}{2}\log\tau = \beta'\omega_1 + \frac{1}{2}\log\tau.$$

La relation (7) de l'auteur serait remplacée par

$$(7^{\text{B}}). \quad . \quad \frac{\beta\omega_2 + \log 2\pi + 2\gamma}{\omega_1} = \frac{\beta'\omega_1 + \log 2\pi + 2\gamma'}{\omega_2}.$$

Voulant conserver aux formules leur symétrie, je déterminerais mes deux constantes d'intégration par les conditions

$$\left\{\begin{array}{l} \log 2\pi + 2\gamma + \frac{1}{2}\log\tau = 0 \\ \log 2\pi + 2\gamma' - \frac{1}{2}\log\tau = 0, \end{array}\right.$$

d'où, par (5^{B}),

$$(8_{\text{B}}) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \left\{\begin{array}{l} \Gamma_2(\omega_1) = \dfrac{\tau^{-\frac{1}{4}}}{\sqrt{2\pi}}\,\omega_2 \\ \Gamma_2(\omega_2) = \dfrac{\tau^{\frac{1}{4}}}{\sqrt{2\pi}}\,\omega_1, \end{array}\right.$$

et alors les équations (6^B) et (7^B) me donneraient

$$\beta = \frac{1}{2}\log\tau, \qquad \beta' = -\frac{1}{2}\log\tau.$$

Les équations (4^B) deviennent ainsi

$$\left\{\begin{aligned} \frac{\Gamma_2(z+\omega_1)}{\Gamma_2(z)} &= \frac{\tau^{-\frac{1}{4}}}{\sqrt{2\pi}}\, e^{\frac{z}{2}\log\tau}\,\Gamma\left(\frac{z}{\omega_2}\right) \\ \frac{\Gamma_2(z+\omega_2)}{\Gamma_2(z)} &= \frac{\tau^{\frac{1}{4}}}{\sqrt{2\pi}}\, e^{-\frac{z}{2}\log\tau}\,\Gamma\left(\frac{z}{\omega_2}\right). \end{aligned}\right.$$

Ces relations sont aussi simples que celles de M. Beaupain, qui fait entrer une exponentielle dans la définition de Γ_1.

Je continuerais ainsi toute la théorie, sans y introduire aucune des anomalies de celle de MM. Barnes et Beaupain.

Conclusion. — On voit d'après cela que je ne partage pas la manière de voir de M. Beaupain. Mais son travail est intéressant, et je reconnais à M. Beaupain le droit de penser autrement que moi. Je considère ses raisonnements comme excellents quand les deux périodes ω_1 et ω_2 sont réelles et positives, comme contestables dans les autres cas. Mais il n'entre aucunement dans mes intentions de méconnaître le mérite de son travail. J'ai donc l'honneur de proposer à la Classe l'impression des quatre premiers chapitres du mémoire. Le chapitre V est à refaire, car il repose sur une erreur manifeste; mais l'auteur pourra le joindre à la seconde partie, qu'il annonce comme prochaine. »

—

Rapport de M. J. Deruyts, deuxième commissaire.

« La fonction gamma double qui est l'objet du mémoire de M. Beaupain est de récente invention, et l'on peut dire, avec le savant premier commissaire, que la définition n'a pas toute la simplicité désirable.

M. Beaupain a conservé la définition proposée antérieurement et par suite il a rencontré mainte difficulté. Son mémoire constitue une intéressante étude des fonctions en question. Dans le domaine réel des paramètres appelés périodes, le sujet est complètement élucidé; mais pour des périodes imaginaires, l'étude des fonctions multiformes n'est traitée que partiellement.

Le travail de M. Beaupain, outre son mérite intrinsèque, aura eu l'avantage d'amener notre savant confrère M. de la Vallée Poussin à proposer, dans une voie nouvelle, une définition correspondant à une généralisation plus simple de la fonction eulérienne.

Je me rallie volontiers aux conclusions du rapport du premier commissaire. »

M. Mansion, troisième commissaire, déclare se rallier aussi aux conclusions du rapport du premier commissaire.

En conséquence, la Classe décide l'impression, dans les *Mémoires* in-4°, des quatre premiers chapitres du travail de M. Beaupain.

COMMUNICATIONS ET LECTURES.

Sur quelques dérivés du nitrile glycolique $NC-CH_2(OH)$;

par Louis Henry, membre de l'Académie.

J'ai réalisé, en 1890 (*), la synthèse du *nitrile glycolique* $NC-CH_2(OH)$, le plus simple des *nitriles-alcools,* par l'addition de l'acide cyanhydrique HCN au méthanal $H_2C=O$.

Le dérivé *chlorhydrique* de ce nitrile, en tant qu'alcool, était connu depuis assez longtemps déjà : c'est l'*acétonitrile monochloré* $ClCH_2-CN$, dont l'existence remonte à 1869 (**).

Le composant éther haloïde H_2C-Cl jouit dans l'*acétonitrile monochloré*, à cause du voisinage immédiat du composant *nitrile* - CN, d'aptitudes réactionnelles bien

---

(*) *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique,* t. XIX (3), p. 350. — Voir mon mémoire : *Sur les nitriles-alcools aliphatiques et leurs dérivés,* dans le tome LVII (1898) des *Mémoires* in-8°.

(**) C. Engler, *Liebig's Annalen,* etc., t. CXLIX, p. 304.

L'*acétonitrile monochloré* $NC-CH_2Cl$ s'obtient aisément par la déshydratation de l'*acétamide monochlorée* $ClCH_2-CO(NH_2)$ par l'anhydride phosphorique P_2O_5. On obtient un rendement plus avantageux en chassant le produit par une distillation sous *pression raréfiée.*

J'ajouterai encore que l'*acétamide monochlorée* s'obtient plus aisément par la réaction de NH_3aq sur le *monochloro-acétate de méthyle* $ClCH_2-CO(OCH_3)$ que sur le dérivé éthylique. Il faut éviter l'échauffement afin de sauvegarder le composant $ClCH_2$.

autrement prononcées que celles qu'il manifeste dans le *chlorure d'éthyle* $H_5C - CN_2Cl$ (*).

J'ai mis à profit cette circonstance pour préparer, il y a longtemps déjà, certains composés qu'il me paraît utile de faire connaître.

Et d'abord sa réaction sur les *sels potassiques des acides gras*.

J'ai déjà fait connaître autrefois (**) la réaction de l'*acétonitrile monochloré* sur l'acétate potassique au sein de l'alcool. Il est préférable d'employer des *sels secs* $C_nH_{2n+1} - COOK$ en l'absence de tout liquide dissolvant.

On opère dans un ballon surmonté d'un tube droit servant de réfrigérant pour la condensation éventuelle des vapeurs et l'on chauffe au bain d'air (appareil de von Babo).

On chasse le produit formé par une distillation sous pression raréfiée.

L'acétonitrile monochloré bouillant à 124°, sous la pression ordinaire, la réaction s'effectue rapidement. Les rendements sont satisfaisants.

Formiate nitrilo-glycolique

$NC - CH_2 (CH O_2)$.

La préparation de ce corps a été réalisée à différentes fois. Voici le détail d'une de ces opérations :

25 grammes de $Cl CH_2 - CN$ ont été chauffés avec

(*) Alors que leur mélange en quantités équimoléculaires est soumis à l'action d'un corps tel que NaI, $K - C_2H_3O_2$, etc., présenté en la quantité nécessaire pour réagir sur un seul $H_2C - Cl$, en vase clos en présence de l'alcool méthylique, on constate que l'*acétonitrile* $NC - CH_2Cl$ est seul atteint.

(**) Voir mon mémoire cité plus haut.

30 grammes — donc un léger excès — de $K - CHO_2$ fondu, en morceaux, et sec. Le formiate se gonfle, sa masse se délite et devient volumineuse. Après une demi-heure de chauffe, la réaction paraît terminée.

Le produit formé est chassé par une distillation sous pression raréfiée. C'est un liquide incolore, exhalant une odeur prussique. On en recueille 22 grammes; il en faudrait théoriquement 27 à 28. La presque totalité passe à une première distillation de 165° à 174° sous la pression ordinaire.

Le produit bout fixe à une seconde rectification à 172°-173° sous la pression de 759 millimètres.

On y a trouvé 16.11 et 16.23 % d'azote; la formule en demande 16.47 %.

Le *formiate glycolique* constitue un liquide incolore mobile, peu odorant.

Sa densité à 20° est égale à 1.182. Son indice de réfraction, à la même température (ligne du sodium dans l'appareil de Pulfrich), a été trouvé égal à 1.40918. Ce qui correspond à un pouvoir réfrigérant moléculaire égal à 17.77; le calcul conduit à 17.43.

Ce corps est insoluble dans l'eau, qui le décompose en ses générateurs, l'acide formique et le nitrile glycolique, mais moins rapidement qu'on pourrait le présumer. On peut en juger par ce qui suit : On a chauffé $0^{gr}2824$ de cet éther avec un grand excès d'eau. Après un quart d'heure de chauffe, le liquide insoluble avait disparu, mais la titration de l'acide formé a constaté que la décomposition n'était pas complète. Elle l'est devenue, après une nouvelle caléfaction, qui a été prolongée pendant une demi-heure, trop longtemps sans doute. Le poids moléculaire du produit, correspondant à la

quantité d'acide mis en liberté et constaté par titration, a été trouvé égal à 83.70; le poids moléculaire théorique est 85.0.

Une autre fois, 10 grammes de cet éther formo-glycolique ont été mélangés avec 10 grammes d'eau, soit 5 molécules. Après cinq minutes d'ébullition, le liquide insoluble avait disparu et la masse est restée homogène par le refroidissement. On a encore chauffé pendant une demi-heure. Le liquide saturé par du carbonate monosodique et traité par l'éther a laissé après expulsion de celui-ci un produit liquide, soluble dans l'eau, qui était du *nitrile glycolique* $NC - CH_2 (OH)$.

Cet éther subit aisément l'action de l'alcool méthylique. Il en résulte du *formiate de méthyle* $H_3C (CHO_2)$ et du nitrile glycolique, aisés à séparer par distillation. Voici le détail d'une opération de ce genre :

11 grammes de $NC - CH_2 (CHO_2)$ ont été chauffés, en vase clos à 100°, pendant environ sept heures avec 40 grammes d'alcool méthylique sec, soit environ 10 molécules. Le liquide est resté incolore. A l'ouverture du tube, on constate une légère odeur prussique; sans doute qu'une partie de l'alcool $H_3C - OH$ a réagi à la façon d'un alcali pour scinder le noyau C_2.

$$NC - CH_2 (CHO_2) + HOCH_3 = NCH + CH_2 < \begin{matrix} OCH_3 \\ CHO_2 \end{matrix}$$

ou

$$CH_2 = O + CH_3 (CHO_2).$$

A la distillation, le liquide commence à passer vers 35°. C'est du formiate de méthyle qui, avec H_2SO_4, fait effervescence et donne du gaz CO. Le thermomètre monte rapidement vers 60°, où il reste fixe pendant assez

longtemps. La distillation ayant été continuée jusqu'à ce que le thermomètre marquât 100°, il est resté dans le ballon 7 à 8 grammes d'un produit soluble dans l'eau. Il en faudrait théoriquement 7 grammes pour $NC - CH_2 (OH)$. Ce reste, distillé sous une pression de 35 millimètres, a passé presque en entier à 125°. C'est donc du nitrile glycolique $NC - CH_2 (OH)$.

Acétate nitrilo-glycolique

$NC - CH_2 (C_2H_3O_2)$.

La réaction de l'*acétonitrile monochloré* sur l'acétate potassique sec et fondu s'accomplit rapidement et plus nettement qu'alors qu'on la réalise au sein de l'alcool (*). La masse brunit faiblement. On extrait le produit par une distillation sous pression raréfiée. Le produit bout en très grande partie, du premier coup, à 179°-180°, sous la pression de 755 millimètres.

La densité de cet acétate à 20° est égale à 1.103.

Son indice de réfraction, à la même température, est 1.4107; d'où l'on déduit son pouvoir réfringent moléculaire :

Calculé	22.03
Trouvé	22.28

La décomposition par l'eau de cet éther est aussi beaucoup moins facile qu'on ne pourrait le supposer, et en tout cas beaucoup plus difficile que celle du dérivé formique. Voici le détail d'une réaction de ce genre :

10 grammes de cet *acétate* glycolique nitrilé NC -

(*) Voir mon mémoire cité plus haut.

$CH_2(C_2H_3O_2)$ ont été ajoutés à 10 grammes d'eau, ce qui correspond à 5 molécules environ. La masse a été soumise à l'ébullition dans un appareil à spirale réfrigérante. L'éther insoluble entre vite en dissolution à chaud. Après cinq heures d'ébullition, du liquide insoluble se précipitait encore par le refroidissement. La liqueur était devenue fortement acide. On a encore chauffé pendant cinq heures consécutives. Le liquide, fortement acide, ne manifestait aucune réaction avec le réactif de Nessler, donc absence de NH_3 et de sel ammoniacal ; il n'exerçait non plus aucune réduction sur l'argent ammoniacal, donc pas de méthanal. Saturée par $KHCO_3$, la masse liquide, après une vive effervescence, laisse précipiter un liquide insoluble. On traite le tout par l'éther. Après expulsion de celui-ci, il reste un liquide à odeur prussique qui n'est qu'en partie soluble dans l'eau : c'est un mélange de l'acétate primitif et du nitrile glycolique formé $NC - CH_2(OH)$, que K_2CO_3 expulse de sa solution aqueuse sous forme d'une couche insoluble surnageante.

Propionate nitrilo-glycolique

$NC - CH_2(C_3H_5O_2)$.

20 grammes de $NC - CH_2Cl$ ont été chauffés au bain d'air, avec un léger excès de propionate potassique, fondu en morceaux. Après une demi-heure, la réaction est terminée et l'on ne voit plus rien se condenser dans le tube réfrigérant.

Par distillation sous pression raréfiée, on recueille 26 à 27 grammes de produit, ce qui correspond à un rendement intégral. Une seule distillation suffit pour obtenir un produit pur.

On y a trouvé 12.39 % d'azote; le calcul en demande 12.39 %.

Cet éther constitue un liquide incolore, mobile, peu odorant, insoluble dans l'eau et plus dense qu'elle.

Sa densité à 20° est égale à 1.062. Il bout, sous la pression de 759 millimètres, à 188°-189°.

Son indice de réfraction à 20° est 1.41662, ce qui correspond à un pouvoir réfringent moléculaire égal à 26.68, alors que la théorie conduit à 26.63.

Butyrate nitrilo-glycolique norma

$NC - CH_2 (C_4H_7O_2)$.

La réaction de l'acétonitrile monochloré sur le butyrate potassique normal, fondu, se passe avec la même régularité facile; 7 grammes de nitrile et 12 grammes de sel ont été mis en réaction. Le rendement approche de l'intégralité.

On a trouvé dans cet éther 10.90 % d'azote; la théorie en demande 11.03.

C'est un liquide exhalant une faible odeur butyrique, insoluble dans l'eau et bouillant à 200°, sous la pression de 758 millimètres.

Son indice de réfraction à 20° est égal à 1.42131, ce qui correspond à un pouvoir réfringent moléculaire égal à 31.53, alors que la théorie conduit à 31.28.

La comparaison de ces divers éthers cyanés entre eux et avec les éthers éthyliques correspondants permet de faire quelques remarques qui ne sont pas dénuées d'intérêt.

a) *Comparaison entre eux.*

La *volatilité* et la *densité à l'état liquide* éprouvent dans la série des modifications d'ordre inverse, diminution de volatilité et élévation graduelle du point d'ébullition, en même temps diminution graduelle de la densité.

$NC - CH_2 (C_nH_{2n-1}O_2)$.

	Ébullition.	Densité à 20°.
Formiate	172°	1.182
Acétate	180°	1.103
Propionate	188°	1.062
Butyrate	200°	1.021

b) *Comparaison avec les éthers éthyliques.*

Le groupement CN, correspondant à CH_3, représente une fraction du poids moléculaire d'autant moindre que celui-ci est plus considérable; aussi la différence qui sépare un éther de son correspondant cyané va-t-elle en s'affaiblissant à mesure que le poids moléculaire augmente.

	Poids moléculaire.			
$H_3C - CH_2 \cdot (CHO_2)$	74	11	Éb. 55°	+ 117°
$NC - CH_2 (CHO_2)$	85		— 172°	

11 = 14.86 %.

$H_3C - CH_2 (C_2H_3O_2)$	88	11	Éb. 77°	103°
$NC - CH_2 (C_2H_3O_2)$	99		— 180°	

11 = 12.50 %.

$H_3C - CH_2 (C_3H_5O_2)$	102	11	Éb. 99°	89°
$NC - CH_2 (C_3H_5O_2)$	113		— 188°	

11 = 10.78 °/₀.

$H_3C - CH_2 (C_4H_7O_2)$	116	11	Éb. 120°	80°
$NC - CH_2 (C_4H_7O_2)$	127		— 200°	

11 = 9.48 °/₀.

Dans mon mémoire *Sur les nitriles alcools aliphatiques*, etc., déjà cité dans le courant de cette note, j'ai décrit les alcools *cyano-éthylique* $CN - CH_2 - CH_2 (OH)$ et *cyano-propylique* $CN - (CH_2)_2 - CH_2 (OH)$, ainsi que leurs dérivés acétiques. Il n'est pas inutile de faire remarquer que c'est à l'étage C_2 dans les dérivés *glycoliques* que l'on observe les différences *minima* dans les points d'ébullition entre les dérivés $- CH_3$ et les dérivés nitrilés correspondants $- CN$.

$H_3C - CH_2 (OH)$	Éb. 78°	+ 105°
$NC - CH_2 - (OH)$	— 183°	
$CH_3 - CH_2 (C_2H_3O_2)$	Éb. 77°	103°
$CN - CH_2 (C_2H_3O_2)$	— 180°	
$CH_3 - CH_2 - CH_2 (OH)$	Éb. 97°	125°-128°
$CN - CH_2 - CH_2 (OH)$	— 222°-225°	
$CH_3 - CH_2 - CH_2 (C_2H_3O_2)$	Éb. 99°	116°
$CN - CH_2 - CH_2 (C_2H_3O_2)$	— 215°	

$CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH_2(OH)$	Éb.	116°	122°-124°
$CN - CH_2 - CH_2 - CH_2(OH)$	—	238°-240°	
$CH_3 - CH_2 - CH_2 - CH_2(C_2H_3O_2)$	Éb.	120°	117°
$CN - CH_2 - CH_2 - CH_2(C_2H_3O_2)$	—	237°	

Cette différence tient évidemment au voisinage immédiat du composant $\underset{1}{C}N$ et $- CH_2(OH)$, $\underset{1}{C}N$ et $CH_2(C_2H_3O_2)$ à l'étage C_2.

J'avais espéré pouvoir faire connaître, en même temps que les éthers nitrilo-glycoliques d'acides gras, l'éther simple du nitrile glycolique lui-même $(CN - CH_2)_2O$. Je ne suis pas encore parvenu à l'obtenir : peut-être réussirai-je à le former en faisant réagir l'*oxyde de méthyle* bi-bromé bi-primaire $(BrCH_2)_2O$, sur l'un ou l'autre cyanure métallique.

L'acétonitrile monochloré réagit aisément et vivement avec l'ammoniaque et les amines mono- et bi-substituées qui s'y rattachent. Sa réaction est la plus simple avec les bases imidées $HN - XX'$. Je me suis occupé surtout de celles-là (*).

Je n'ai employé que la diéthylamine, la dipropylamine primaire, la di-isobutylamine et la pipéridine. Il en faut deux molécules pour une seule du nitrile chloré, la seconde reste en combinaison avec l'acide chlorhydrique formé. Alors que la réaction est réalisée au sein de l'éther, ce sel se sépare à l'état cristallin. Après l'expulsion de l'éther, on introduit la masse restante dans l'eau qui dissout le chlorhydrate et laisse l'amine cyanée formée sous forme d'huile insoluble.

(*) Ces recherches datent de l'été de 1894.

Toutes ces bases cyanées $NC - CH_2 - NX_2$ se font plus commodément et plus économiquement par la réaction des *amines bi-substituées* $HN - X_2$ sur le *nitrile glycolique* lui-même

$$NC - CH_2(OH) + HN - X_2 = NC - CH_2 - NX_2 + HOH.$$

Dans ce cas, une seule molécule du composé ammoniacal suffit. Je m'occuperai de ces combinaisons dans un mémoire spécial consacré aux *amines cyanées* de diverse nature, produites à l'aide des nitriles-alcools, etc., *primaire* comme $NC - CH_2 (OH)$, *secondaires*, $NC - CH (OH) -$, et *tertiaires*, $NC - C (OH) <$. Je n'envisagerai ici ces composés qu'au point de vue de leur *volatilité* par rapport aux bases tertiaires éthyliques correspondantes, $(H_5C - CH_2) NX_2$

$H_5C - CH_2 - N (CH_3)_2$ (*)	Éb.	28°-30°	+ 110°
$NC - CH_2 - N (CH_3)_2$	—	139°-140°	
$H_5C - CH_2 - N (C_2H_5)_2$	Éb.	89°	+ 81°
$NC - CH_2 - N (C_2H_5)_2$	—	170°	
$H_5C - CH_2 - N (C_3H_7)_2$	Éb.	132°-134°	+ 70°
$NC - CH_2 - N (C_3H_7)_2$	—	200°-202°	
$H_5C - CH_2 - (N = C_5H_{10})$ (**)	Éb.	128°	+ 82°
$NC - CH_2 - (N = C_5H_{10})$	—	210°	

(*) Produit de l'action de l'iodure d'éthyle $H_5C - CH_2I$ sur la diméthylamine $NH (CH_3)$ aq. (L. H.).

(**) Pipéridique.

On voit qu'il en est ici comme dans les éthers éthyliques des acides gras : la *cyanation* du composant CH_3 — changé en CN — détermine une élévation dans le point d'ébullition, qui va en diminuant à mesure que s'élève le poids moléculaire (*).

Je m'occuperai, dans une communication ultérieure, de la réaction de l'acétonitrile chlorée monochlorée sur les dérivés sodés des alcools et divers composés métalliques se rattachant soit aux mercaptans, soit à certains produits renfermant le composant $H_2\overset{|}{C}$ - Na, $H\overset{|}{C}$ - Na ou - $\underset{|}{C}$ - Na.

En terminant, j'aime à constater la part qui revient à mon assistant, M. Auguste De Wael, dans la partie expérimentale de ces recherches.

(*) Le plus bel exemple d'un fait de ce genre nous est fourni par l'acétonitrile et ses dérivés chlorés sur lesquels j'ai déjà attiré l'attention.

$H_3C - CH_3$	Éb.	-85°	$+167^o$
$NC - CH_3$	—	$+82^o$	
$H_3C - CH_2Cl$	Éb.	12°	$+112^o$
$NC - CH_2Cl$	—	124°	
$H_3C - CHCl_2$	Éb.	59°	53°
$NC - CHCl_2$	—	112°	
$H_3C - CCl_3$	Éb.	75°	$+ 8^o$
$NC - CCl_3$	—	83°	

—

Note rectificative au sujet d'un travail sur le radium; par Ch. Lagrange, membre de l'Académie.

Dans ma note sur l'indéfectibilité d'énergie du radium (1), j'ai commis dans l'exemple traité une erreur qu'il est de mon devoir de signaler.

Cette erreur qui, non redressée, vicierait les conclusions que j'avais tirées, consiste à considérer comme des constantes les paramètres de la fonction $K\varphi(r)$ de la réaction centrale, au lieu de regarder ces paramètres eux-mêmes (ce qu'on peut concevoir et définir physiquement de deux manières) comme des fonctions d'un potentiel extérieur fixe, ce que suppose la remarque sur la dérivée partielle (§ 9 à la fin), principe de la rotation. Je compte corriger et compléter dans ce sens mon analyse dans un nouveau travail. Jusque-là, et tel qu'il est, le travail actuel base ses conclusions sur une erreur, ce qu'il importait de reconnaître.

—

Résistance des matériaux. — *L'infiniment petit absolu et le problème de la flexion debout (un chapitre de science appliquée mis au point par l'infiniment petit fixe);* par Ch. Lagrange, membre de l'Académie.

1. Le problème de la flexion debout se définit le plus simplement, et tout d'un coup, par l'exemple concret de l'*arc tendu :* l'arc étant courbé, on cherche, suivant la corde, les deux tensions égales et contraires N, N capables de maintenir l'équilibre.

(1) *La machine à mouvement perpétuel et la question du radium.* (Bull. de l'Acad. roy. de Belgique [Classe des sciences], n° 11, nov. 1903.)

La solution de ce problème est en apparence simple; en tous cas, elle semble devoir être bien déterminée. Cependant elle a donné et elle donne encore aujourd'hui lieu aux plus diverses interprétations et aux plus singulières conséquences. Ainsi, d'après une célèbre formule d'Euler, on démontre qu'en dessous d'un certain minimum de l'effort N, tout état d'équilibre est impossible; qu'en outre la flèche f de l'arc et sa courbure sont entièrement indéterminées quand l'équilibre est possible, c'est-à-dire quand $N \geqq$ ce minimum.

Ces conclusions ont été enseignées par tous les auteurs, sans qu'ils parvinssent d'ailleurs à rendre raison de leur caractère évidemment inadmissible. Les uns, sortant de la question, ont cherché à faire disparaître l'indétermination de la flèche en se donnant des conditions subsidiaires qui n'existent pas implicitement dans les équations à résoudre, c'est-à-dire dans la vraie position du problème. D'autres vont jusqu'à admettre que cette indétermination serait théorique et bien réelle, c'est-à-dire qu'il ne faudrait nullement l'attribuer à la nécessité où l'on est de substituer, pour intégrer, un système d'équations approché aux équations théoriques rigoureuses; que, même pour ces dernières, si l'on parvenait à les intégrer exactement, l'indétermination dont il s'agit subsisterait; en un mot, ce qui est tout à fait inconcevable, que le problème est en lui-même indéterminé.

Frappés de ces contradictions, d'autres géomètres ont d'ailleurs, par une intégration directe, et sans recourir à des idées étrangères à la question, montré que l'indétermination n'existe pas et calculé la flèche; il convient, je pense, de citer à cet égard tout particulièrement

l'intéressant mémoire de M. le Professeur Keelhoff (*). Mais, chose remarquable, ces analyses normales et plus rigoureuses, ou bien n'élucident en rien le fait même de l'erreur évidente qui remonte jusqu'à l'analyse d'Euler lui-même, ou bien, dans l'interprétation qu'elles en produisent, elles-mêmes introduisent ou laissent subsister des notions en désaccord tout aussi évident avec la vérité analytique ou physique.

2. Mon attention a été appelée, il y a quelques mois, sur cette question par un jeune géomètre, officier de notre armée. Convaincu par une simple notion de sens commun que toutes les interprétations et conclusions des auteurs relatives à l'indétermination devaient être inexactes, il s'était attaché à l'intégration rigoureuse des équations proposées; et par une analyse analogue à celle du mémoire de M. Keelhoff, dont il ignorait l'existence, il avait établi — ce qui a tout au moins ici la valeur d'une confirmation — que l'indétermination théorique n'existe, en effet, nullement, et que les équations classiques de l'équilibre renferment, comme cela devait être, les conditions nécessaires et suffisantes au calcul déterminé de tous les paramètres, notamment la flèche de la pièce déformée.

3. Dans ces circonstances, ma propre réflexion avait été attirée moins par la question même de l'intégration que par celle de l'erreur de principe que, nécessai-

---

(*) *Théorie des pièces chargées de bout,* par F. Keelhoff, ingénieur des ponts et chaussées, répétiteur à l'Université de Gand. (Annales de l'Association des ingénieurs sortis des écoles spéciales de Gand, t. XIX, [1895-1896], p. 105.)

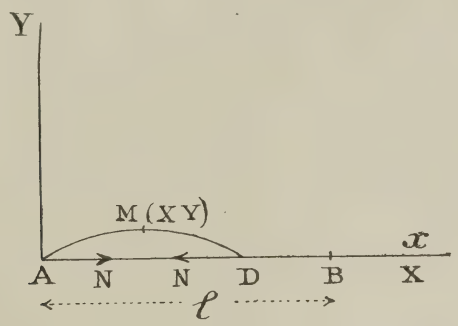
rement, avaient dû commettre les géomètres pour arriver aux conclusions singulières dont il a plus haut été question. Cet examen comportait l'analyse minutieuse de la vraie position du problème, et la recherche des points dont, de façon ou d'autre, on s'en était écarté. Or, j'ai été ainsi conduit, d'une manière d'autant plus remarquable qu'elle semblait moins attendue dans cette matière de pure science appliquée, à un nouvel argument décisif de l'erreur du principe de la limite, et par conséquent de la nécessité, *dans l'ordre de l'application pratique lui-même,* de prendre en considération directe la notion fondamentale de l'infiniment petit absolu, non plus comme outil transitoire pour arriver à une solution pratique, mais comme constituant cette solution cherchée elle-même. Cette nécessité se mesurera à la nature même des résultats que, cette notion négligée, et par l'erreur du principe de la limite, on légalisait jusqu'ici d'une manière positive. Il est certes assez piquant qu'une question pratique d'ingénieur vienne ici, comme à son insu, plaider victorieusement le fondement le plus abstrait de l'analyse tout entière.

L'exposé de ce nouvel argument est la raison d'être et la matière de la courte note que j'ai l'honneur de présenter à l'Académie.

J'envisagerai d'abord, comme pour mémoire, dans les cas I et II, les interprétations auxquelles donnent tout d'abord naturellement naissance les termes littéraux de l'énoncé, afin de mieux mettre ensuite en évidence, dans le cas III, le sens particulier et l'erreur qui caractérisent la solution classique des traités.

4. Soit AB (fig.) l'axe d'une pièce qui après défor-

mation devient AMD, D étant la position déplacée de B et M (X, Y) celle d'un point (x, o) de la pièce primitive. Pour passer de AB à AMD, AB a été fléchie par un



système de forces S, et l'on cherche les forces N capables de maintenir ensuite à elles seules la flexion actuelle ainsi obtenue. Ces forces N devront satisfaire aux équations d'équilibre

$$(\mathrm{I}) \quad \ldots\ldots \quad \left\{ \begin{aligned} \frac{dX}{dx} \operatorname{tg} \theta &= -\frac{dY}{dx} \\ \frac{dX}{dx} - 1 &= \frac{N \cos \theta}{E\Omega} \\ \cos \theta \frac{d\theta}{dx} &= \frac{NY}{EI}, \end{aligned} \right.$$

où θ est l'angle de la tangente en M avec les x, Ω la section, à moment d'inertie I, de la pièce, E le coefficient d'élasticité. La première équation est une simple relation géométrique ; la deuxième et la troisième expriment les équilibres de translation et de rotation.

Premier cas. — La pièce droite est fléchie. Il faut donc

concevoir qu'on part d'une pièce droite soumise à un moment fléchissant μ, que nous désignerons généralement par $\mu = k'\varphi(x)$, moment auquel on peut adjoindre d'ailleurs un effort normal N; mais μ est *nécessaire* pour obtenir une flexion. La question est alors de calculer la flexion pour μ (et N), puis de voir si μ (et N) ne pourraient être remplacés par une force unique N. Dans l'état d'équilibre, on aura les équations en ajoutant au moment fléchissant NY de la troisième des équations (I), le moment μ. Cette troisième équation s'écrira donc $\left(\frac{k'}{EI} = k\right)$,

$$\cos\theta \frac{d\theta}{dx} = \frac{NY}{EI} + k\varphi(x).$$

On connaît les intégrales X, Y, θ pour $k = 0$. On a alors

$$\theta = 0, \quad Y = 0, \quad X = \left(1 - \frac{N}{E\Omega}\right)x.$$

On peut dès lors développer ces intégrales suivant les puissances du coefficient k (dû au moment μ). Il suffit de dériver sur place les équations par rapport à k. On aura par exemple

$$\left\{\begin{aligned} &\frac{d\dfrac{dX}{dk}}{dx}\operatorname{tg}\theta + \frac{dX}{dx}\frac{\dfrac{d\theta}{dx}}{\cos^2\theta} = -\frac{d\dfrac{dY}{dk}}{dx} \\ &\frac{d\dfrac{dX}{dk}}{dx} = \frac{N}{E\Omega}\sin\theta\frac{d\theta}{dk} \\ &-\sin\theta\frac{d\theta}{dk}\frac{d\theta}{dx} + \cos\theta\frac{d\dfrac{d\theta}{dk}}{dx} = \frac{N}{EI}\frac{dY}{dk} + \varphi(x). \end{aligned}\right.$$

En faisant $k = 0$, on aura les coefficients de la pre-

mière puissance de k dans le développement des intégrales. Les équations deviennent

$$\left\{\begin{array}{ll} 1) & \left(\frac{dX}{dx}\right)_0 \left(\frac{d\theta}{dk}\right)_0 = -\frac{d\left(\frac{dY}{dx}\right)_0}{dx} \\ 2) & \frac{d\frac{dX}{dk}}{dx} = 0 \\ 3) & \frac{d\frac{d\theta}{dk}}{dx} = \frac{N}{EI}\frac{dY}{dk} + \varphi(x). \end{array}\right.$$

En posant

$$\left(\frac{dY}{dk}\right)_0 = u, \qquad -\left(1 - \frac{N}{E\Omega}\right)\varphi(x) = F(x),$$

$$\beta = \sqrt{\left(1 - \frac{N}{E\Omega}\right)\frac{N}{EI}},$$

on a

$$\frac{d^2u}{dx^2} + \beta^2 u = F(x),$$

$$u = (c_1 + \int_0^x \cos\beta x F x dx)\sin\beta x$$

$$+ (c_2 - \int_0^x \sin\beta x F x dx)\cos\beta x;$$

et, par

$$x = 0 \quad Y = 0$$
$$x = l \quad Y = 0,$$

l étant la longueur primitive de AB,

$$Y = \frac{k}{\beta}\left\{\left(\int_l^x \cos\beta x F x dx\right)\sin\beta x + \frac{\cos\beta l}{\sin\beta l}\sin\beta x\int_0^l \sin\beta x F x dx\right.$$

$$\left. - \cos\beta x\int_0^x \sin\beta x F x dx\right\}.$$

On trouve ensuite X et θ. Tout, y compris la flèche, est donc complètement déterminé. Mais la flexion disparaît avec k ou μ. N n'intervient dans la flexion de la pièce que par l'intermédiaire de k. Sans doute N existe bien dans β, et, quelque faible que soit k, on obtiendra une flexion qui pourra être amplifiée par l'action de N; mais si on supprime k, il est impossible de maintenir la flexion actuelle (c'est-à-dire Y) par une simple force N. *Telle que la question est ici conçue,* le résultat demandé, c'est-à-dire l'équilibre par la seule action de la force N, est impossible.

Deuxième cas. — On peut concevoir que, sans qu'il y ait eu de moment fléchissant μ, on soit parti d'une ligne AB très peu différente de la droite, ce qui revient à supposer que l'inverse $\frac{1}{\rho}$ du rayon de courbure de AB n'est pas 0. On aura alors les équations

$$\left\{\begin{aligned} &\left(1 - \frac{n}{\rho} + \frac{dt}{ds}\right) \operatorname{tg}\theta = -\left(\frac{dn}{ds} + \frac{t}{\rho}\right) \\ &\frac{dt}{ds} - \frac{n}{\rho} = -\frac{N\cos\theta}{E\Omega} \\ &\cos\theta\,\frac{d\theta}{ds} = \frac{N}{EI}Y, \end{aligned}\right.$$

n et t étant les déplacements d'un point normalement et tangentiellement à AB.

En posant $\frac{n}{\rho} = a$, on connaîtra, pour la valeur $a = 0$ de a, les intégrales

$$Y = 0 \qquad \theta = 0 \qquad X = \left(1 - \frac{N}{E\Omega}\right)x.$$

En développant les intégrales Y, θ, X suivant les puis-

sances de a, on aura finalement, par la même méthode qu'au premier cas (Y_0 étant ici l'Y de l'état initial),

$$Y = \frac{1}{\rho}\left(\frac{dY_0}{dx} + \frac{N}{E\Omega}x\right)$$

$$+ \frac{1}{\rho\beta}\left\{ - \beta\frac{Nl\sin\beta x}{E\Omega\sin\beta l} + \left(\int_l^x \cos\beta x F x dx\right)\sin\beta x\right.$$

$$+ \frac{\cos\beta l}{\sin\beta l}\sin\beta x\int_0^l \sin\beta x F x dx$$

$$\left. - \cos\beta x\int_0^x \sin\beta x F x dx\right\}.$$

Tout est donc déterminé; mais ici encore N n'agit que par l'intermédiaire de $\frac{1}{\rho}$. Quelque petit que soit $\frac{1}{\rho}$, ce terme *donne occasion à la flexion par* N *seul*, mais il est nécessaire pour que cette flexion puisse avoir lieu sous l'action de N. Tel est évidemment le cas de l'*arc* quand on en produit la flexion par la tension N de la *corde;* il présente, en rapport avec cette tension plus ou moins grande, une variation continue dans sa déformation.

Troisième cas. — Véritable sens de la solution des traités de construction (formule d'Euler).

Ici la vraie position de la question est la suivante : On suppose en réalité *donnés*, c'est-à-dire déjà actuellement existants, grâce à une flexion préalable, certains paramètres de la flexion, soit la flèche f, soit l'angle θ_0 en A, D. On cherche ensuite les forces N capables de maintenir par elles seules ces paramètres, et d'ailleurs aussi une forme de la courbe qui rende cela possible.

Or les équations d'équilibre (I), exactes en elles-mêmes, prennent, appliquées à ce problème, un sens faux, si l'on n'y joint pas expressément et si l'on y perd de vue cette condition préalable que f (ou θ_0) *existe, est déjà donnée*, et que c'est N que l'on cherche pour f donnée, et nullement (ainsi que l'indiqueraient ces équations (I) présentées sans autre avis) que l'on cherche les paramètres pour la force donnée N qui figure explicitement dans ces équations. Pour ce dernier cas, la solution serait simplement $Y = 0$, $\theta = 0$, c'est-à-dire la simple compression $\frac{dX}{dx} = 1 - \frac{N}{E\Omega}$ de la pièce.

Or, c'est cette confusion dans la position de la question, c'est la non-prise en considération de la condition préalable imposée (ce n'est d'ailleurs nullement la simplification des équations par approximation) qui donne lieu aux paradoxes de la solution classique, cette solution qui prétend, par exemple, que la flèche est indéterminée.

Voici, en effet, comment on procède généralement dans cette solution :

Les équations (I), préalablement simplifiées comme il suit,

$$(\mathrm{II}) \quad \left\{ \begin{aligned} \frac{dX}{dx} \sin\theta &= -\frac{dY}{dx} \\ \frac{dX}{dx} - 1 &= \frac{N}{E\Omega} \\ \cos\theta \frac{d\theta}{dx} &= \frac{NY}{EI}, \end{aligned} \right.$$

s'intègrent sous la forme

$$Y = f \sin mx + f' \cos mx,$$

avec

$$m = \sqrt{\left(1 - \frac{N}{E\Omega}\right)\frac{N}{EI}}$$

De la condition $x = 0$, $Y = 0$, on conclut $f' = 0$.

De $x = l$, $Y = 0$, on devrait (si l'on intégrait II sans faire attention à la condition préalable d'une flèche donnée, c'est-à-dire si l'on considérait N comme ayant produit la flexion), on devrait, disons-nous, suivant le procédé habituel de détermination des constantes (il y a ici deux conditions et deux constantes), conclure aussi $f = 0$, c'est-à-dire $Y = 0$, ce qui est, en effet, le résultat de l'action de N (compression). Pourquoi ne le fait-on cependant pas? C'est qu'ici, avec raison, on se souvient d'abord de la condition préalable que l'arc est maintenu dans un état de flexion, *donc que* f *n'est pas nul*, et on satisfait à $x = l$, $Y = 0$, non par $f = 0$, mais par $\sin mx = 0$, d'où l'on tire (avec des notations connues) $N = n^2 \frac{\pi^2 r^2 E\Omega}{l^2}$ (n entier).

Jusque-là tout va bien, c'est-à-dire qu'on ne raisonne pas inexactement. Mais l'instant d'après, on tombe dans une erreur radicale en concluant de ce qui précède que f est indéterminée et qu'il y a indépendance entre N et f (et θ_0); ces résultats présentent un caractère paradoxal et sont évidemment en opposition avec le sens commun.

C'est qu'ici on a tout d'un coup repassé, sans s'en apercevoir, du vrai point de vue de la déformation initiale (f) donnée à celui de la simple intégration de (II), où, N étant donné, on cherche, en partant de ce N donné, à déterminer des constantes arbitraires f, θ_0, etc. Comme on a épuisé les deux conditions de détermination des paramètres (et que, d'ailleurs, en calculant θ en fonction de x, la condition $x = l$, $\theta = \theta_0$ n'apprendrait rien non plus sur la valeur de θ_0), on en conclut que f et θ_0 sont réellement indéterminés; on arrive à la conséquence, évidem-

ment fausse, que l'équilibre existe, avec la même force $N = n^2 \frac{\pi^2 r^2 \Omega E}{l^2}$, pour une courbure et une flèche quelconques de l'arc. [De cette même manière faussée de considérer la question vient également la constatation que *l'équilibre est impossible quand la force* N EST INFÉRIEURE *à un minimum* $N = \frac{\pi^2 r^2 E \Omega}{l^2}$, alors qu'on devrait simplement remarquer (ce qui est bien différent et ce que nous allons prouver) que *la solution de la question n'assigne jamais à* N, QU'ON CHERCHE, *une valeur inférieure à ce minimum.*]

5. On nous demandera maintenant — et ceci va nous conduire à l'objet capital de cette note — puisque nous prétendons erronée la conclusion généralement enseignée que f est indéterminée, d'indiquer donc nous-même sa valeur déterminée dans la solution des équations (II). Nous allons le faire, et cela par une remarque qui semble avoir échappé à tous les géomètres qui reproduisent la solution classique, et dont ils apprécieront la portée au point de vue de l'analyse tout entière.

Cette remarque, c'est que la valeur de la flèche f est donnée par le fait même que les équations (II) ne sont autres que les équations (I), où l'on pose $\theta^2 = 0$, c'est-à-dire où $\theta =$ [ou est de l'ordre (produit par un entier fini) de] l'*infiniment petit absolu*, première valeur à partir de zéro, et dont, par conséquent, le carré θ^2 *n'existe pas*, c'est-à-dire pour une flexion *donnée*, infiniment petite.

L'approximation empirique (tg θ remplacée par sin θ, cos $\theta = 1$ dans la deuxième équation) par laquelle on passe de (I) à (II) équivaut, en effet, comme résultat, à écrire les équations suivantes (III), *équations théoriques et*

rigoureuses de la flexion donnée infiniment petite absolue, savoir

$$\text{(III)}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad \left\{ \begin{array}{l} \dfrac{dX}{dx}\theta = -\dfrac{dY}{dx} \\ \dfrac{dX}{dx} = 1 - \dfrac{N}{E\Omega} \\ \dfrac{d\theta}{dx} = \dfrac{NY}{EI}, \end{array} \right.$$

équations qui conduisent, mais avec un sens théorique rigoureux et déterminé, aux intégrales classiques, jusqu'ici sans interprétation, des traités.

De ces équations théoriques, rigoureuses et nullement simples formules d'approximation, il suit que *le paramètre* f *est donc donné.* C'est l'*infiniment petit absolu de flèche*, grandeur entièrement déterminée.

Le minimum $N = \frac{\pi^2 r^2 E\Omega}{l^2}$ *n'est donc autre chose que la valeur de* N *qui correspond à la* MOINDRE VALEUR f *de la flexion.* Voilà pourquoi il ne peut y avoir de valeur de N inférieure à celle-là; mais pour une autre valeur de f (et θ_0), on ne doit nullement, comme on l'estime, trouver toujours cette même expression pour N, mais bien une fonction continue de ces f, θ_0.

$N = \frac{\pi^2 r^2 E\Omega}{l^2}$ n'est qu'une valeur particulière; elle convient à la valeur unique déterminée de l'infiniment petit absolu f. Et d'ailleurs, il ne faut pas s'étonner de trouver une force finie pour une flexion infiniment petite; cela est, au contraire, tout à fait dans l'ordre, puisque cette force finie est appliquée à un bras de levier infiniment

petit, et donne, par conséquent, naissance à un moment de même ordre que le moment de flexion.

Puisque dans l'équation $Y = f \sin mx$ de la courbe de flexion, f n'est donc pas fini comme on le pense, mais bien infiniment petit, et que tout est en fait ainsi connu et déterminé, rien ne peut mieux que cet exemple tangible mettre en évidence la nécessité de la notion de l'infiniment petit absolu, et sa distinction d'avec le *zéro*; car, pour $f = 0$, $\theta_0 = 0$, tout se réduit à la simple compression $N = E\Omega \left(\frac{dX}{dx} - 1\right)$.

Le rayon de giration r n'intervient que pour f existant (le minimum de f étant l'infiniment petit). Les deux ordres de faits physiques radicalement différents et distincts correspondent à des fonctions radicalement distinctes aussi, séparées par l'intervention de l'infiniment petit. Dans cette distinction si nettement accusée, le principe de la limite trouve, et l'on ne doit pas s'en étonner, un nouveau cas flagrant d'erreur.

6. Tels sont, nous en avons la conviction, le vrai sens, et la vraie rectification du sens, de la solution d'Euler et des traités. Cette rectification a une portée capitale en ce qu'elle établit la nécessité de la notion d'infiniment petit fixe pour la compréhension d'un fait physique bien tangible appartenant à une science appliquée.

Les nombreux exemples de l'erreur radicale du principe de la limite par le zéro que j'avais déjà signalés, la faiblesse des arguments qu'on a bien voulu m'opposer (*)

(*) Voyez notamment *Réponse à des objections d'un confrère* [Bull. de l'Acad. roy. de Belgique (Classe des sciences), 1904, n° 1] et l'*Argument du millionnaire* (Ibid., 1904, n° 2).

sont sans doute déjà suffisants pour qu'aux yeux de tous ceux qui se sont donné la peine de les discuter, la question soit dès à présent résolue et bien jugée; ce principe est une erreur qui vicie aujourd'hui la théorie de l'analyse et ses applications dans toutes les branches. Mais l'exemple actuel a cela de particulièrement remarquable que, bien loin de pouvoir être négligé ou passé sous silence, sous prétexte d'exception spéculative, il bénéficie de toute la publicité déjà acquise à un chapitre entier de science appliquée.

Une solution, évidemment contraire au sens commun, ce dont témoignent l'embarras même et les hésitations des auteurs qui la proposent, est donc désormais contrainte à disparaître ou à se transformer dans le sens que cet exemple indique, en introduisant ouvertement la notion de l'infiniment petit fixe.

7. Puisque la question traitée porte essentiellement sur les principes mêmes de la science, je crois pouvoir rappeler que, dans mon *Étude du principe de la limite*, j'ai nettement mis en présence les trois manières de voir qui aujourd'hui se disputent l'enseignement de l'analyse, savoir :

I. Négation de la notion d'infiniment petit comme idée fausse, et seul recours à la limite par le zéro.

II. Limite par le zéro, et usage du terme *infiniment petit* pour désigner ce qui ne l'est réellement pas, c'est-à-dire une variable qui décroît (système de Cauchy).

III. Admission nette de l'infiniment petit fixe (infiniment petit absolu) comme idée nécessaire; la limite correspond non au zéro, ce qui n'a en réalité aucun sens, mais à l'infiniment petit fixe.

Les défenseurs du système I peuvent avoir facilement

raison du système II et de la mauvaise définition de Cauchy, en le combattant sur le terrain même de ce système II, système II dont la seule défense possible, comme on l'a vu depuis dans ses discussions avec le système III (qui est également opposé à I et à II), est aujourd'hui de garder une réserve autorisée.

Mais si les défenseurs de I ont le mérite d'apercevoir la faiblesse du système II, il serait vivement à désirer qu'ils fissent connaître, dans l'intérêt d'une vérité qui est la base de toute l'analyse, et par conséquent de toutes les sciences, la manière dont ils entendent concilier avec le système I les arguments nouveaux (arguments de fait, problèmes à résoudre) présentés par le système III, sans qu'on ait pu jusqu'ici lui répondre. Il ne nous paraît pas douteux que la conciliation doit finir par s'établir entre I et III de la manière suivante : II, en sa qualité de système hybride et moyen doit disparaître. I et III, qui, en tout état de cause, ont le mérite d'avoir des opinions claires, seront d'accord quand I, contraint par des *faits* qu'il ne peut expliquer et des problèmes dont il hésiterait à accepter la solution publique, reconnaîtra que la limite existe, non pour le zéro, mais pour le minimum de la grandeur ou l'infiniment petit absolu, et que les équations différentielles sont *rigoureusement exactes* dans l'ordre de cet infiniment petit absolu, attendu que ses puissances supérieures à la première sont, non pas négligeables, mais *n'existent pas*.

Cette dernière remarque est la clef du calcul différentiel, et seule elle donne la raison d'être de sa rigoureuse exactitude.

—

Le principe de la limite conduit, dans des problèmes classiques, aux relations absurdes $1 = \frac{1}{2}$ *et* $1 = 0$. *(Ce que serait un traité de probabilités fondé sur le seul principe de la limite);* par Ch. Lagrange, membre de l'Académie.

1. L'un des premiers exemples que j'ai présentés de l'erreur du principe de la limite par le zéro est celui du cas classique de l'aiguille de Buffon, pour lequel la limite conduit à la conséquence que la chance qu'on a, en jetant l'aiguille sur le parquet, de lui voir prendre une direction désignée, est égale à zéro. L'exemple du tir, où, de même, il faudrait conclure à la nullité de la probabilité de toucher un point de la cible, est analogue. Dans ces cas, l'erreur mathématique commise consistait à remplacer un infiniment petit, certainement existant, par zéro, qui est la négation de l'existence de la grandeur.

Je me propose ici de présenter de nouveaux cas, tout particulièrement remarquables en ce qu'ils ne portent plus seulement sur la substitution de zéro à l'infiniment petit, mais bien, comme l'indique le titre de cette note, sur celle d'une grandeur finie à une autre très différente, en donnant ainsi, sous une forme qui la rend encore plus criante, la démonstration de l'erreur de ce principe de la limite.

2. Par deux points A et B du cercle C (fig. 1) on mène au hasard deux demi-droites dans les deux demi-plans qui contiennent le cercle, déterminés par les tangentes TAT', $T_1BT'_1$ en A et B.

On demande la probabilité que ces demi-droites se rencontrent dans ou sur le cercle.

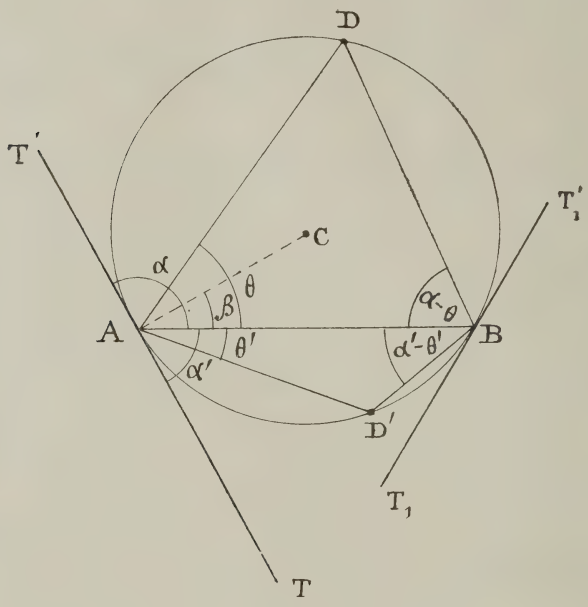


Fig. 1.

Posons $T'AB = \alpha$, $TAB = \alpha'$, et soit, à partir de AB, θ (ou θ') l'angle qui détermine une demi-droite AD (ou AD') menée par A. La demi-droite BD (ou BD') menée par B devra, pour satisfaire à la question, être comprise dans $ABD = \alpha - \theta$ (ou $ABD' = \alpha' - \theta'$).

On peut prendre pour *manières* dont l'événement peut arriver, les différentes demi-droites menées par A. En désignant par $d\theta$ un petit angle constant, le nombre de

ces demi-droites est $\frac{\pi + d\theta}{d\theta}$; par conséquent, la probabilité ϖ d'une manière θ (ou θ') est

$$\varpi = \frac{d\theta}{\pi + d\theta}.$$

Quant à la probabilité de l'événement *dans* la manière θ (ou θ'), elle est : pour θ variant de $d\theta$ à α, $d\theta_1$ désignant un petit angle constant,

$$P' = \frac{\dfrac{\alpha - \theta + d\theta_1}{d\theta_1}}{\dfrac{\pi + d\theta_1}{d\theta_1}};$$

pour θ variant de $d\theta$ à α',

$$P' = \frac{\dfrac{\alpha' - \theta' + d\theta_1}{d\theta_1}}{\dfrac{\pi + d\theta_1}{d\theta_1}};$$

enfin, pour AD coïncidant avec AB,

$$P' = \frac{\dfrac{\pi + d\theta_1}{d\theta_1}}{\dfrac{\pi + d\theta_1}{d\theta_1}} = 1.$$

On aura donc, par le théorème de la probabilité totale, pour la probabilité demandée :

$$(1) \qquad P = \frac{d\theta}{\pi + d\theta} + \sum_{\theta = d\theta}^{\theta = \alpha} \frac{d\theta}{\pi + d\theta} \cdot \frac{\alpha - \theta + d\theta_1}{\pi + d\theta_1}$$

$$+ \sum_{\theta' = d\theta}^{\theta' = \alpha'} \frac{d\theta'}{\pi + d\theta} \cdot \frac{\alpha' - \theta' + d\theta_1}{\pi + d\theta_1},$$

ou,

$$(2)\quad P = \frac{1}{\pi^2}\int_0^{\alpha}(\alpha-\theta)\,d\theta + \frac{1}{\pi^2}\int_0^{\alpha'}(\alpha'-\theta')\,d\theta' = \frac{1}{2\pi^2}(\alpha^2+\alpha'^2),$$

qu'on peut aussi écrire, en posant

$$\alpha = \frac{\pi}{2} + \beta$$

$$\alpha' = \frac{\pi}{2} - \beta,$$

$$P = \frac{1}{4} + \frac{\beta^2}{\pi^2}.$$

Si

$$\beta = 0\left(\alpha = \frac{\pi}{2},\quad \alpha' = \frac{\pi}{2}\right),$$

ou si la corde AB est le diamètre AC, on a $P = \frac{1}{4}$.

Si

$$\beta = \frac{\pi}{2}(\alpha = \pi,\quad \alpha' = 0),$$

ou si la corde AB devient la tangente AT, on a $P = \frac{1}{2}$.

C'est ce dernier résultat que nous nous proposons de discuter.

3. La tangente AT est la limite des positions de la sécante AB quand B se rapproche de A, ou quand α' tend vers zéro. Pour $\alpha' = 0$, ou pour la coïncidence (AB, AT), les points B et A, d'après la limite par le zéro, coïncident.

D'autre part, on vient de voir par (2) que pour $\alpha' = 0$, on a $P = \frac{1}{2}$.

Il résulte de là que, d'après la théorie de la limite, quand, la sécante venant coïncider avec la tangente, B vient coïncider avec A, on a $P = \frac{1}{2}$.

Or ce résultat nécessaire de la théorie de la limite est entièrement faux, puisqu'on a évidemment pour la probabilité P, dans le cas de la coïncidence des deux points, eu égard aux conditions du problème, $P = 1$; c'est une donnée de sens commun qu'établirait d'ailleurs ici, par

$$\varpi = \frac{d\theta}{\pi + d\theta}, \qquad P' = \frac{\dfrac{\pi + d\theta_1}{d\theta_1}}{\dfrac{\pi + d\theta_1}{d\theta_1}},$$

la probabilité totale

$$P = \sum_{\theta=0}^{\theta=\pi} \varpi P' = \int_0^{\pi} \frac{d\theta}{\pi} = 1.$$

Il est d'ailleurs à remarquer que, pour $\alpha' = 0$, le terme en α' n'existant pas dans la formule rigoureuse (1), elle donne

$$P = \frac{d\theta}{\pi + d\theta} + \sum_{\theta=d\theta}^{\theta=\alpha=\pi} \frac{d\theta}{\pi + d\theta} \cdot \frac{\pi - \theta + d\theta_1}{\pi + d\theta_1}$$

$$= \sum_{\theta=0}^{\theta=\pi} \frac{d\theta}{\pi + d\theta} \cdot \frac{\pi - \theta + d\theta_1}{\pi + d\theta_1},$$

c'est-à-dire qu'elle vérifie bien la relation

$$P = \frac{1}{\pi^2} \int^{\pi} (\pi - \theta) d\theta = \frac{1}{2}.$$

Conclusion. — Le principe de la limite conduit donc à enseigner ici comme exacte l'équation absurde

$$\frac{1}{2} = 1.$$

4. La nature de la divergence prouve assez d'elle-même, et il est facile de le vérifier rigoureusement sur (1) (2), qu'elle ne provient pas de ce que l'on aurait négligé, en passant aux intégrales définies, des termes infiniment petits. Mais dès lors, c'est-à-dire puisque l'on a bien, pour $\alpha' = 0$, $P = \frac{1}{2}$, alors que, d'après la théorie de la limite, on aurait pour $\alpha' = 0$ la coïncidence des points B, A et par conséquent $P = 1$, il ne reste qu'une seule conclusion à tirer, — et elle est nécessaire, puisqu'on ne peut pas avoir $1 = \frac{1}{2}$ — c'est que c'est la notion de la coïncidence des deux points, introduite par la notion de la limite, qui est fausse elle-même, et qu'il faut, par conséquent, concevoir que, sur les tangentes AT, les deux points A et B, quand B, pour $\alpha' = 0$, vient y occuper une position limite B_1, sont non point coïncidants, mais bien infiniment rapprochés. Dans cette manière de voir, le résultat $P = \frac{1}{2}$ s'explique d'une manière simple et évidente qui constitue une nouvelle vérification.

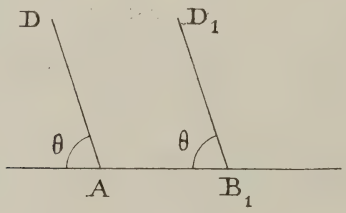


Fig. 2.

Il est clair, en effet (fig. 2), que pour AB_1, infiniment

petit, une demi-droite B_1D_1 rencontrera AD dans le cercle pour toutes les positions de B_1D_1 embrassées par l'angle $\theta = AB_1D_1$ déterminé par la parallèle B_1D_1 à AD; et qu'on aura par conséquent

$$P = \int_0^\pi \frac{d\theta}{\pi} \cdot \frac{\theta}{\pi} = \left(\frac{\theta^2}{2\pi^2}\right)_0^\pi = \frac{1}{2}.$$

Ceci même fournit d'ailleurs peut-être la forme la plus simplement démonstrative du point que nous étudions. P (2) et B se correspondent. Pour $\alpha' = 0$, $P = \frac{1}{2}$. Il s'agit de savoir ce qu'est devenu alors le point B. Or B, qui n'a pas quitté le cercle, est alors en tous cas sur la tangente. C'est donc un point de la tangente, et un point qui donne $P = \frac{1}{2}$ Donc B arrive alors précisément en B_1 qui donne justement $P = \frac{1}{2}$, et non pas en A qui donnerait la probabilité $P = 1$ (*).

On est donc forcément ramené, par ce problème particulier, et cette circonstance est assurément remarquable, à la même conclusion que nous avait déjà imposée l'étude générale de la question de la tangente, à savoir que la tangente à une courbe a plus d'un point

---

(*) D'une manière plus courte encore : P et B varient continûment, en se correspondant toujours. Donc quand P atteint $P = \frac{1}{2}$, B atteint B_1 qui donne $P = \frac{1}{2}$, et non A, qui donnerait $P = 1$.

On se rend aisément compte, d'ailleurs, que l'on a $\alpha' = 0$ pour B infiniment rapproché de A sur le cercle; car x étant la projection de AB sur la tangente et y la distance de B à la tangente, on a $\operatorname{tg} \alpha' = \frac{y}{x}$. Or $y = R - \sqrt{R^2 - x^2}$ (R rayon du cercle), et pour $x =$ infiniment petit absolu ε, $x^2 = 0$; d'où $y = 0$ et $\operatorname{tg} \alpha' = \frac{0}{\varepsilon} = 0$.

commun avec cette courbe, et que la notion de direction est inséparable de celle de l'élément de courbe (*).

Mais, d'ailleurs, il est facile de se rendre compte du concours de ces conclusions; il provient évidemment de ce que, dans le problème actuel, cette notion de *direction* est introduite, dès les prémisses, par la donnée AB, ligne qui joint les *deux* points du cercle. C'est sur elle qu'est fondée la formule (2), qui est essentiellement une relation d'angles propre au cercle. Or, cette notion ainsi introduite est une donnée qui ne peut plus s'éliminer, et qui par elle-même élimine de (2), qui existe en fait pour $\alpha' = 0$ et exprime encore une probabilité (voir § 4), le cas de la coïncidence des points AB, coïncidence pour laquelle cette donnée n'a plus de sens, et qu'elle ne peut donc impliquer.

5. Il est instructif, pour confirmer ces conclusions, d'envisager ce que pourraient arguer encore les partisans quand même de la limite par le zéro. Nous pouvons, à titre

---

(*) Voir *La question de la tangente*. [BULL. DE L'ACAD. ROY. DE BELGIQUE (Classe des sciences), 1903, n° 12.]

Au sujet de l'objection subsidiaire qui naît, pour le cercle, de l'égalité des distances du centre à plusieurs points de la tangente, je n'ai qu'à renvoyer à la note page 15 du travail : *Réponse à une objection d'un confrère*, etc. (IBID., 1904, n° 1.)

La solution réside dans la distinction qui existe entre la fonction $\lambda = \sqrt{R^2 + x^2}$ ou *oblique analytique*, qui exprime l'oblique, et l'*oblique géométrique*, donnée physique dont les propriétés (comme d'être $>$ la perpendiculaire) concernaient les valeurs finies de x (distance au pied de la perpendiculaire), et qui ne commencent à exister que pour $x^2 =$ infiniment petit absolu $= \varepsilon$, c'est-à-dire pour des distances x de l'ordre $\sqrt{\varepsilon}$.

de remarque pratique et de fait, commencer par prendre à témoin tous les mathématiciens que la manière dont la solution du problème a été conduite au paragraphe 2 est celle qui serait naturellement suivie aujourd'hui par tout le monde; après avoir établi par une intégrale définie l'expression (2) de P, on examinera, comme nous l'avons fait, les valeurs que prend P pour les positions remarquables de AB ou les valeurs correspondantes de α, α'. Il n'est pas de géomètre-limitiste qui ne conclue d'abord, sans crier gare, que pour $\alpha' = 0$, $P = \frac{1}{2}$, et qui, sans autre enseignement que celui de sa formule, ne renseigne ce résultat comme exact. Or ce résultat est faux, d'après les idées mêmes de ce limitiste sur les conditions d'existence de la tangente, puisque, d'après ces conditions, on devrait avoir $P = 1$. Il n'y a donc pas à tergiverser : la limite conduit ici à un résultat faux. Ce n'est donc qu'après avertissement de l'absurdité du résultat que le limitiste pourrait se raviser et chercher mieux; mais il importe de voir si, même ainsi prévenu, il serait plus heureux. Il pourrait dire : Nous examinerons séparément le cas où A et B coïncident, et celui où ils sont différents. Dans le premier, on a évidemment $P = 1$; dans le second, on est conduit à la formule (2). Or comme, d'après nous, « pour la tangente les points A, B coïncident », le cas $\alpha' = 0$ de AB tangente n'appartient pas à la formule (2), qui donnerait alors $P = \frac{1}{2}$, et par conséquent la contradiction signalée n'existe pas. Nous tendons ici la main au limitiste, en lui accordant sa pétition de principe sur le point unique de la tangente. Mais cela même ne le tirerait pas d'affaire, car, d'après ses propres idées, la tangente n'est pas déterminée (ce qui

d'ailleurs serait absurde et inconcevable pour tout le monde) par un point unique donné (AB coïncidants, premier cas), mais bien par sa définition de *limite* des positions α' de la sécante AB; et, par conséquent, ce qui aurait été amené directement et naturellement au paragraphe 3 par le limitiste lui-même partant de la sécante et passant à la tangente, subsiste : il ne raisonne mal que depuis qu'on l'a prévenu de son erreur (*); le terme limite $P = \frac{1}{2}$, pour $\alpha' = 0$, de la valeur (2) de P fondée sur la considération de la sécante du cercle, appartient aussi bien, et au même titre, à la formule (2), que la tangente comme limite de la sécante pour $\alpha' = 0$ appartient

---

(*) Une remarque assez piquante et qui montre bien l'inconséquence forcée de la théorie de la limite, c'est que, suivant les cas, le limitiste lui-même consent ou ne consent pas à passer à la limite.

Ici *c'est bien le limitiste qui ne veut pas passer à la limite* par le zéro, en supposant que P établie pour l'arc $AB = \Delta s$, est encore vraie à la limite pour $\Delta s = 0$, qui donnerait $\alpha' = 0$, $P = \frac{1}{2}$ Logiquement il devrait soutenir que l'on a encore pour la corde devenant tangente (et $AB = 0$), $P = \frac{1}{2}$; absolument comme, dans le cas du point a de la cible, il soutient que $P = \frac{1}{N}$ est encore vraie à la limite et qu'on a $P = 0$.

Dans le premier cas il trouve le résultat limite ($P = \frac{1}{2}$) absurde, et il n'en veut pas. Dans le deuxième cas il ne trouve pas le résultat limite ($P = 0$) absurde et il en veut bien.

On peut donc présenter une objection très forte à la limite en lui faisant remarquer que si elle admet $P = 0$ dans un cas, elle doit admettre forcément $P = \frac{1}{2}$ dans l'autre, et que si l'un de ces résultats n'est pas absurde pour elle, l'autre non plus, au même titre, ne doit pas l'être. On peut lui demander de justifier pourquoi elle n'agit pas suivant la même règle dans les deux cas.

au cercle, et l'une de ces limites correspond adéquatement à l'autre (*).

Toute échappatoire qui pourrait ici être tentée *a posteriori* par la théorie de la limite par le zéro, ne servirait donc qu'à mieux montrer, par son caractère illusoire, la réalité de la conséquence fausse qu'elle ne peut éviter, et il serait d'autant mieux établi que l'équation absurde

$$1 = \frac{1}{2}$$

est bien réellement à l'actif du principe de la limite. L'erreur qu'il commet ici en probabilités n'est due qu'à celle qu'il commet en géométrie dans sa fausse notion de la tangente.

En se reportant à la figure 2, on remarquera avec quelle netteté ce résultat met en évidence la nécessité de l'infiniment petit et l'erreur du zéro. Pour $AB_1 = n\varepsilon$,

---

(*) On ne peut pas dire que, dans le problème, le cas de la tangente *n'est pas dans la question;* ce qui n'est pas dans la question, c'est sans doute de mener la droite par un unique point, mais ce qui est bien en question, c'est précisément de savoir si la tangente a *un* ou plusieurs points communs avec le cercle. On constate ensuite que la valeur de P pour la tangente (de quelque façon que celle-ci soit déterminée dans le plan) est donnée par $\alpha' = 0$ ou $\alpha = \pi$, $\beta = \frac{\pi}{2}$, qui répondent à la tangente; c'est-à-dire que la valeur de P pour $\alpha' = 0$ existe dans la formule et est $P = \frac{1}{2}$, et que pour $\alpha' = 0$ la corde devient la tangente. Ainsi *quand la corde devient la tangente,* P *devient* $P = \frac{1}{2}$, *et réciproquement;* c'est une question de fait. Conclusion : Il ne faut pas, pour la tangente, passer à la limite par le zéro, puisqu'alors on aurait $P = 1$. La limite répond donc ici à autre chose : à l'infiniment petit.

n étant un entier fini et ε l'infiniment petit absolu, on a $P = \frac{1}{2}$. Pour $AB_1 = 0$, qui n'appartient pas aux valeurs de la grandeur AB, on a $P = 1$. Cette discontinuité si nettement accentuée de P correspond à la distinction entre l'infiniment petit et le néant, et met clairement en évidence l'impossibilité de se passer, comme objet définitif dans la solution, de la première de ces deux notions.

6. Le second exemple, mentionné par le titre de cette note, d'une relation absurde en termes finis à l'actif du principe de la limite, nous sera fourni par la question du tir. On sait que la limite assigne à la probabilité P_a de toucher un point a d'une cible, la valeur

$$P_a = 0.$$

Or, c'est cette donnée qui l'oblige forcément à enseigner comme exacte l'équation

$$1 = 0.$$

En effet, si

$$P_a \text{ (probabilité de toucher } a) = 0,$$

(1) P' (probabilité de toucher un autre point que a en tirant *dans* la cible) $= 1$.

Mais, d'autre part, pour chacun des points b différents de a on a, comme pour a, $P_b = 0$.

Donc par la probabilité totale, on a

(2). . . . . $P' = \Sigma P_b = 0.$

Donc on a, par (1) et (2),

$$P' = 1 = 0,$$

c. q. f. d.

Le cas devient particulièrement impressif quand on se figure le tireur au centre d'une sphère. Il est impossible qu'en prenant une direction quelle qu'elle soit, la balle n'atteigne pas la surface. Cependant, pour le limitiste la chance est nulle. De telle sorte que 0, qui à volonté était déjà pour lui le symbole de l'impossibilité ou de l'invraisemblance, devient maintenant ici celui de la *certitude*.

7. En rapprochant les exemples caractéristiques qui précèdent d'autres, d'ailleurs au fond tout aussi décisifs, déjà présentés par nous au sujet des probabilités, on est naturellement amené à envisager dans un coup d'œil d'ensemble, et par une constatation dont le caractère synthétique peut constituer le plus éloquent des exemples, ce que serait logiquement un traité de probabilités d'où l'on se proposerait de bannir la notion pure de l'infiniment petit, en s'imposant de n'y laisser subsister que la notion de la limite par le zéro.

Une telle analyse pourrait être fort étendue, mais il suffit d'y relever, à travers le champ du sujet, quelques traits caractéristiques qui serviront de type à tout le reste.

Il importe d'ailleurs de bien faire observer qu'il ne s'agit nullement de rechercher à grand'peine quelques conséquences éloignées et complexes, mais que dès les premiers pas, et dans les propositions les plus générales, on se trouve immédiatement en présence d'erreurs évidentes que condamnera toujours le plus élémentaire sens commun, erreurs qui, pour cette raison, seront toujours inenseignables.

Notre première citation, empruntée aux principes des probabilités *a priori*, va en être la plus certaine des preuves.

Il s'agit de la notion d'impossibilité.

La probabilité P est le rapport $P = \frac{N_f}{N_p}$ du nombre N_f des cas favorables au nombre N_p des cas possibles.

0 est le symbole de l'impossibilité. En effet, pour un événement impossible on a $N_f = 0$, d'où $P = 0$; et réciproquement $P = 0$ entraîne la relation

$$\frac{N_f}{N_p} = 1 - \frac{N_f - N_p}{N_p} = 0,$$

$$\frac{N_p - N_f}{N_p} = 1, \quad N_p - N_f = N_p, \quad N_f = 0,$$

c'est-à-dire l'impossibilité de l'événement. Cette démonstration est rigoureuse quel que soit N_p, dès qu'il existe (*); elle établit que le *zéro* est et ne peut être en probabilités que le symbole de l'impossibilité (**). Or le principe de la limite conduit, dans une infinité de problèmes, à attribuer aussi la probabilité $P = 0$ à des événements nullement impossibles (tel est, pour n'en citer qu'un, le cas classique du problème de l'aiguille de Buffon, où la

---

(*) Tel est, par exemple, le cas de la *collection des points différents* d'une surface donnée, *réalité existante* pour laquelle N est *un nombre infini entièrement déterminé*. L'établissement de la formule ne fait pas nécessairement usage de l'idée que les nombres sont finis, mais uniquement de ce qu'ils sont *existants*, quels qu'ils soient.

(**) Un limitiste pour éviter ceci a prétendu que la formule de probabilité $P = \frac{N_f}{N_p}$ ne « signifie plus rien » à l'infini. Pourquoi donc alors, pourrait-on lui demander, puisque cela ne signifie plus rien, pouvez-vous en passant à la limite soutenir que P est *encore alors* une probabilité? Ceci seulement pour montrer le désarroi inextricable où s'obstinent, à leur détriment, les défenseurs du faux principe de la limite par le zéro.

probabilité que l'aiguille, jetée sur le parquet, prenne une direction désignée est estimée nulle par la limite, quoique évidemment le fait considéré ne soit pas impossible). Le limitiste en sera donc réduit à passer sous silence la démonstration rigoureuse qui précède. Mais il s'octroierait cette défaite, qu'il n'en serait guère plus avancé, car il n'aurait pas moins fourni lui-même très gratuitement un argument de sens commun auquel il ne répondra jamais : c'est l'inconséquence qu'il y a, en considérant le *zéro* comme représentant à volonté l'invraisemblance ou l'impossibilité, à attribuer par là, la même chance d'arriver à un événement réellement impossible et à un autre événement qui ne l'est pas.

Il y a bien plus, son principe le conduira ensuite forcément à désigner comme *invraisemblables* ou *impossibles* des événements *qui arriveront certainement*.

Tel serait le cas de l'aiguille : le limitiste sera obligé d'enseigner qu'en jetant une aiguille sur le parquet, il est impossible ou, pour le moins, fort invraisemblable qu'elle y prenne une direction, n'importe laquelle.

Cela suffit pour faire voir que les probabilités *a priori* deviendraient par le principe de la limite un tissu de conséquences plus déraisonnables les unes que les autres.

Passons aux probabilités *a posteriori*. Le limitiste attribuera ici à toutes les causes possibles la probabilité *zéro*, et il enseignera dès lors que tous les événements qui ont des causes sont impossibles ou invraisemblables; en tous cas, ils auront tous la même probabilité. Il en sera de même d'ailleurs des causes elles-mêmes; elles auront toutes une probabilité d'existence nulle; et, la cause la plus probable n'existant dès lors pas, tous les théorèmes qui forment le corps de la théorie n'auront eux-mêmes

plus aucune raison d'être. Ici le limitiste éliminera les absurdités par la suppression même du sujet.

Si enfin on passe aux applications, notamment à la plus belle et à la plus utile de toutes, la *théorie des erreurs*, le caractère étrange de semblables prémisses sera rendu encore plus criant par le caractère concret des faits. C'est ainsi que toutes les erreurs qu'on peut commettre ayant des chances nulles d'arriver, on aura aussi une chance nulle de commettre une erreur; tout au moins l'existence d'une erreur dans une observation deviendra-t-elle fort invraisemblable; d'ailleurs, toutes les erreurs étant également probables, toute la théorie des erreurs est du coup supprimée, n'ayant plus, dès lors, aucune raison d'être. Dans le tir encore, toujours en vertu de la limite, on a la même chance de toucher un seul point désigné qu'un quelconque d'une collection de trois, quatre, mille, dix mille points donnés sur la cible; ou de toucher une ligne aussi complexe et repliée qu'on voudra, tracée sur la cible; et d'ailleurs dans tous ces cas, cette chance étant nulle, il s'ensuit encore que le limitiste enseignera didactiquement qu'il est indifférent pour atteindre le but de charger ou de ne pas charger l'arme; la chance dans les deux hypothèses est, d'après lui, exactement la même (*).

(*) Ce résultat, comme celui de la chance de toucher égale en visant la cible ou en lui tournant le dos, est un de ceux qui, à juste titre, embarrassent le plus le limitiste. Pour dépister les échappatoires et mettre les points sur les *i*, voici ce problème de la cible ramené à la formule de probabilité.

Problème de la cible.

Toucher cible = *toucher un point* de la cible (contact d'une sphère [balle] et d'un plan [cible] = un point).

A la question que nous nous étions posée, on peut donc répondre avec assurance que jamais, dans le seul principe de la limite par le zéro, on n'écrira raisonnable-

---

1° *Probabilité de toucher un point* a *de la cible* A *en visant du côté* f *de la cible?*

I. $\left.\begin{array}{l} N_p = \text{nombre des points différents de A} = N \\ N_f = 1 \text{ (le point } a) \end{array}\right\} P = \frac{1}{N}$ infiniment petit. La limite donnerait $P = 0$.

2° *Probabilité* P′ *de toucher* a *en visant vers* f′, *diamétralement opposé, le plan* B *opposé à* A?

II. N_p = nombre des points différents de B = N′.

$N_f = 0$, car aucun des N′ n'étant a, il n'y a aucun cas favorable. Donc $P' = 0$.

On a donc bien, en appliquant rigoureusement la règle d'évaluation de la probabilité, $P = 0$, c'est-à-dire que l'*événement* = *toucher* a est ici *impossible*. C'est ce que dit le sens commun : « On n'a *absolument* AUCUNE CHANCE de toucher a; c'est *impossible.* »

III. Or la limite donne $P = P'$, ce qui est absurde. Elle est donc en défaut. On a donc bien $P = \frac{1}{N}$ infiniment petit et $P' = 0$, c'est-à-dire $P > P'$, comme l'exige le sens commun.

Voici, dans le même ordre, et pour mémoire, un petit problème à proposer à la limite :

On dit à quelqu'un de penser au hasard un nombre. Probabilité que ce sera le nombre 3?

1° Ce quelqu'un est un esprit normal.

$\left.\begin{array}{l} N_p = N \text{ (nombre des nombres entiers)} \\ N_f = 1 \end{array}\right\} P = \frac{1}{N}$. La limite donne $P=0$.

2° Ce quelqu'un est un amnésique qui a perdu la mémoire du nombre 3 (cas pathologique qui existe d'ailleurs réellement).

$$\left.\begin{array}{l} N_p = N \\ N_f = 0 \end{array}\right\} P' = 0.$$

Donc, d'après la limite, ($P = P'$), *il y a autant de chance de voir dire le nombre* 3 *par quelqu'un qui le connaît que par quelqu'un qui l'a oublié!*

ment un traité de probabilités, non seulement parce qu'on serait arrêté dès les prémisses par l'absurdité immédiate des conséquences, mais parce que le principe de la limite supprimerait du coup le sujet tout entier lui-même.

En dehors des exemples particuliers qui ont été traités avec détail, il paraît donc nettement établi, par ce coup d'œil général, qu'il est réellement impossible de traiter des probabilités sans faire usage explicite, *dans l'expression définitive des solutions,* de la notion de l'infiniment petit ; et ce qu'il importe enfin essentiellement de noter, c'est que cet infiniment petit, tel qu'il se présente dans ces solutions, ne peut être l'infiniment petit des errements actuels et de Cauchy, grandeur *finie variable ;* et cela pour deux raisons qui dispensent des autres, savoir : 1° qu'il n'est pas *fini*, et 2° qu'il n'est pas *variable.*

C'est donc de l'infiniment petit fixe qu'il s'agit, infiniment petit dont l'existence est prouvée par une constatation à laquelle on ne répondra jamais : c'est qu'à partir de zéro, il existe un *premier état de la grandeur* ni 0 ni fini. A ce premier état, il faut bien donner un nom ; c'est ce qu'on appelle, en français, un *infiniment petit;* et c'est à cet infiniment petit absolu, et non au zéro, que correspondent les grandeurs appelées *limites.*

Nous terminerons en faisant bien remarquer que la solidité de la thèse que nous défendons, et ce qui doit forcément assurer son triomphe final, réside en ce qu'elle n'est pas contrainte de chercher ses arguments dans des conséquences éloignées et complexes, accessibles aux seuls spécialistes, mais en ce qu'il lui suffit de l'identification de ses principes, même les plus abstraits, avec les données du sens commun. On peut se borner à prendre pour témoin l'exemple du tir : un seul argument suffit et devient redoutable dès que tout le monde le comprend.

—

PREUVE PHYSIQUE DE LA LIBRATION TERRESTRE (suite à la note *Sur un fait physique nouveau*); par F. Folie, membre de l'Académie.

Dans la *Revision des constantes de l'astronomie stellaire,* nous avons trouvé, page 92, que la vitesse angulaire n de l'écorce terrestre, au lieu d'être uniforme, est sujette à des variations périodiques Δn déterminées par la formule

$$\text{(I)}\quad \frac{\Delta n}{n} = \nu \{0.5 \cos 2\varphi + 4.16 \cos (2☾ - 2\varphi) + 1.85 \cos (2\odot - 2\varphi)\};$$

d'où l'on déduit, entre les limites φ et φ' :

$$\text{(II)}\quad \frac{\Delta n}{n}\Bigg\{_{\varphi}^{\varphi'} = -2\nu \sin (\varphi' - \varphi) \{ 0.5 \sin 2\varphi_m$$

$$+ 4.16 \sin (2☾_m - 2\varphi_m) + 1.85 \sin (2\odot_m - 2\varphi_m) \} \Bigg\}.$$

ν est le coefficient de la nutation diurne, que nous avons trouvé égal à $\frac{2''}{30}$; les indices m se rapportent aux valeurs moyennes $\frac{\varphi + \varphi'}{2}$, etc.

Cette différence sera la plus grande possible pour

$$\varphi' - \varphi = 6 \text{ h. (ou 18 h.)},$$

et, en même temps, pour

$$\varphi_m = ☾_m = \odot_m = 0 \text{ ou } 180^\circ.$$

Dans ces cas, la plus grande variation de la fraction $\frac{\Delta n}{n}$ sera, après six heures, égale à $2 \times 6.5\nu$.

Il y a bien des années déjà, nous nous sommes demandé si l'on ne pourrait pas rendre sensible *physiquement* cette variation de la vitesse de l'écorce terrestre, et nos réflexions nous ont enfin conduit à la conclusion suivante :

Si un corps pouvait conserver, à la surface de la Terre, en vertu de son inertie, la vitesse dont celle-ci est animée à un instant donné, la différence entre cette vitesse constante et la vitesse variable de l'écorce terrestre ne pourrait-elle pas se constater *physiquement* après un intervalle de temps de six heures?

Or, si je suspends un poids à un fil très flexible, et si je le maintiens dans la verticale du point de suspension, il sera animé de la même vitesse que celui-ci. Si je l'abandonne ensuite à son inertie, il conservera cette même vitesse, tandis que le point de suspension aura à chaque instant la vitesse de l'écorce terrestre à laquelle il est invariablement fixé.

La différence sera-t-elle physiquement appréciable?

Soumettons la question au calcul.

Soit α l'angle compris entre les deux positions du fil aux instants o et t. En négligeant la masse et l'élasticité du fil, supposé très mince et très flexible, on aura

$$v dv = g\rho \sin \alpha d\alpha,$$

v désignant la différence entre la vitesse du poids et celle du point de suspension, ρ la distance de son centre de gravité à ce dernier point. L'intégration entre les limites

o et α, auxquelles correspondent les limites o et υ, donnera

$$\upsilon^2 = 4g\rho \sin^2 \frac{\alpha}{2},$$

d'où

$$\alpha = \frac{\upsilon}{\sqrt{g\rho}}.$$

Si l'on prend $\rho = 0^m9175$, on trouve

$$\alpha = \frac{\upsilon}{3}.$$

Nous appellerons simplement vitesse du poids la différence entre sa vitesse et celle du point de suspension.

Cette vitesse υ est égale à $r\Delta n$, r désignant le rayon du parallèle.

Or, il résulte de la formule II qu'après six heures $\frac{\Delta n}{n}$ peut s'élever à $2 \times 6.5\,\nu$ et, par suite,

$$\upsilon \text{ à } 6.5\,\nu rn, \quad \alpha \text{ à } 2 \times 6.5\,\nu \frac{rn}{\sqrt{g\rho}}$$

ou à

$$\frac{26''}{30} \frac{rn}{\sqrt{g\rho}},$$

si

$$\nu = \frac{2''}{30} = 0''.067.$$

Pour Liége, rn est égal à 294 m. par seconde.

En prenant $\rho = 0^m9175$, $\frac{rn}{\sqrt{g\rho}}$ sera égal à 98, et la lon-

gueur de l'arc décrit par le centre de gravité du pendule à

$$\frac{26.98}{30} \sin 1'' = 0^{mm}42.$$

Avec un fil de $3^{m}67$ de long, on obtiendrait, après six heures, un déplacement de $0^{mm}84$, qu'il ne serait pas malaisé d'agrandir considérablement par des procédés optiques.

Si donc la nutation diurne a la valeur que nous avons déduite des meilleures séries d'observations en ascension droite et en D, l'irrégularité du mouvement de l'écorce terrestre, qui est due à la même cause que cette nutation, pourra s'accuser physiquement et constituera une preuve *physique* indéniable de la nutation diurne, puisque l'une et l'autre dépendent absolument du même coefficient.

Pour réaliser l'expérience dans les meilleures conditions, il faut la commencer à l'heure sidérale φ du premier méridien déterminée par

$$\varphi' - \varphi = 6 \text{ h. ou } 18 \text{ h.}; \qquad \varphi' + \varphi = 6 \text{ h. ou } 18 \text{ h.},$$

d'où

$$\varphi = 0 \text{ h., ou } 6 \text{ h., } 12 \text{ h., } 18 \text{ h.}$$

Or, $\varphi = L + \tau$; L pour Liége est égal à 1 h. 47 m. (*). L'observation devra donc commencer à l'heure sidérale $\tau = 22$ h. 13 m. ou 16 h. 13 m., 10 h. 13 m., 4 h. 13 m.

Afin d'obtenir le maximum absolu, il faut que

$$\varphi' - \varphi = 6 \text{ h. ou } 18 \text{ h.}$$

(*) *Revision des constantes de l'astronomie stellaire*, p. 56.

et que

$$\varphi' + \varphi = 2\varphi_m = 6 \text{ h.}, \quad 2☾_m - 2\varphi_m = 6 \text{ h.}, \quad 2☉_m - 2\varphi_m = 6\text{h.};$$

d'où 90° pour les longitudes de la Lune et du Soleil; ou bien que

$$2\varphi_m = 18 \text{ h.}, \quad 2☾_m - 2\varphi_m = 18 \text{ h.}, \quad 2☉_m - 2\varphi_m = 18 \text{ h.};$$

d'où 270° pour les longitudes des deux astres. C'est donc aux syzigies solsticiales que le plus grand effet de la libration terrestre se fera sentir. Pour les marées, c'est, au contraire, aux syzigies *équinoxiales*.

Si le mouvement de mon pendule libre n'était dû exclusivement qu'à la libration terrestre, on pourrait déduire des observations de ce mouvement le coefficient de la nutation diurne, ainsi que la longitude orientale du premier méridien, puisque $\varphi = L + \tau$, surtout si l'on peut comparer des observations faites en deux lieux distants de six heures environ en longitude.

Toutefois, la solution du problème n'est pas aussi simple, à cause des déviations périodiques de la verticale, qui introduisent dans le mouvement du pendule libre des oscillations d'une période diurne et dépendant aussi de la position des deux astres.

On pourra déterminer ces dernières au moyen d'un pendule installé dans le méridien, où il sera complètement à l'abri de la libration terrestre.

L'appareil dont j'ai fait usage consiste tout simplement en un pendule composé d'un disque en plomb du poids de $0^{kg}4$, suspendu par deux fils de platine de $0^{mm}1$ à une barre de fer dirigée dans le méridien et solidement ancrée dans un mur orienté à peu près de l'E. à l'W.; la distance entre les extrémités supérieures des fils est de

20 centimètres. Ils sont entourés d'une gaine hermétiquement close, qui les met à l'abri des courants d'air.

Au centre du disque est placée une lentille de $0^{m}125$ de distance focale. Au foyer de celle-ci, sur une console très solidement ancrée dans la muraille, se trouve une puissante source lumineuse de position invariable. A 2 centimètres du disque, un écran percé d'une fente de $0^{mm}5$ laisse passer les rayons lumineux qui ont traversé la lentille. Ces rayons frappent à $9^{m}50$ de distance une règle horizontale divisée en millimètres, sur laquelle se font les lectures. Pendant le jour, la salle doit naturellement être transformée, par un procédé quelconque, en chambre noire.

On pourrait s'en dispenser en observant directement, au moyen d'un fort microscope, les déviations d'une pointe très fine fixée au disque.

Dans l'appareil dont j'ai fait usage, le grossissement était de $\frac{9.50}{0.125} = 76$.

La longueur du pendule, de l'axe de suspension au centre du disque, était de $3^{m}67$, de sorte que $\sqrt{gl} = 6$.

C'est au moyen de cet appareil très simple que j'ai obtenu les résultats consignés dans les diagrammes précédents (*), qui montrent d'une manière bien évidente la périodicité du mouvement du pendule.

Celui-ci est parfois agité de mouvements sismiques qui rendent la lecture un peu pénible ; en général, néanmoins, les points obtenus se relient fort bien par une courbe continue.

Il ne serait ni difficile ni bien coûteux d'enregistrer

(*) *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique* (Classe des sciences), n° 4, 1904.

photographiquement les mouvements du pendule d'une manière continue sur un tambour analogue à celui des enregistreurs météorologiques. En installant un pendule semblable dans le méridien, on pourra déterminer les déviations périodiques de la verticale.

Dans la note que j'ai lue « Sur un fait physique », j'ai insisté sur le caractère semi-diurne du phénomène.

Si ce caractère n'y existait pas, la démonstration *physique* de ma formule relative à l'irrégularité du mouvement de rotation de l'écorce terrestre ne résulterait plus du phénomène observé, puisque l'argument principal de la formule est 2φ, dont la période est de douze heures.

Un savant qui a reproduit mes expériences et constaté des résultats analogues aux miens, m'a écrit cependant qu'il ne découvrait pas une période semi-diurne dans les diagrammes joints à ma note.

Comme cette objection pourrait se présenter à l'esprit de plusieurs, j'ai cru utile de faire voir, par ces mêmes diagrammes, que la période du phénomène est bien semi-diurne, c'est-à-dire que l'intervalle de temps écoulé entre un maximum ou un minimum et le zéro est en moyenne de six heures environ.

Voici le relevé de ces intervalles pris sur les quatre courbes du diagramme :

I. 5 h.
II. 3 $^1/_2$ h.
III. 3 $^1/_2$, 3 $^1/_2$, 6 $^1/_4$, 8 $^1/_4$, 2 $^3/_4$, 4 $^1/_4$ h.
IV. 8 $^1/_4$, 3, 5, 9 $^3/_4$, 9 $^1/_4$ h.

La moyenne générale, 5^h6, s'approche fort de six heures, ce qui démontre péremptoirement le caractère semi-diurne du phénomène.

Les écarts entre les résultats individuels et la moyenne seraient probablement moins considérables si, au lieu de prendre un même zéro pour chacune des quatre courbes, nous avions pu déterminer séparément le zéro pour chacune d'elles; et la moyenne eût pu, dans ce cas, approcher davantage de six heures.

J'ai fait remarquer l'analogie qui existe entre la période de ce phénomène et celle des marées.

Il y a quelques années, M. Van de Sande-Backhuysen trouvait cette dernière période dans les variations de la latitude, et je l'avais expliquée par le déplacement que les marées doivent produire dans la position du pôle d'inertie de l'écorce terrestre (*).

On pourrait s'assurer si telle est bien la véritable explication, en comparant les variations de latitude de cette période en des lieux fort différents en longitude.

Mais possède-t-on les éléments nécessaires à cette recherche?

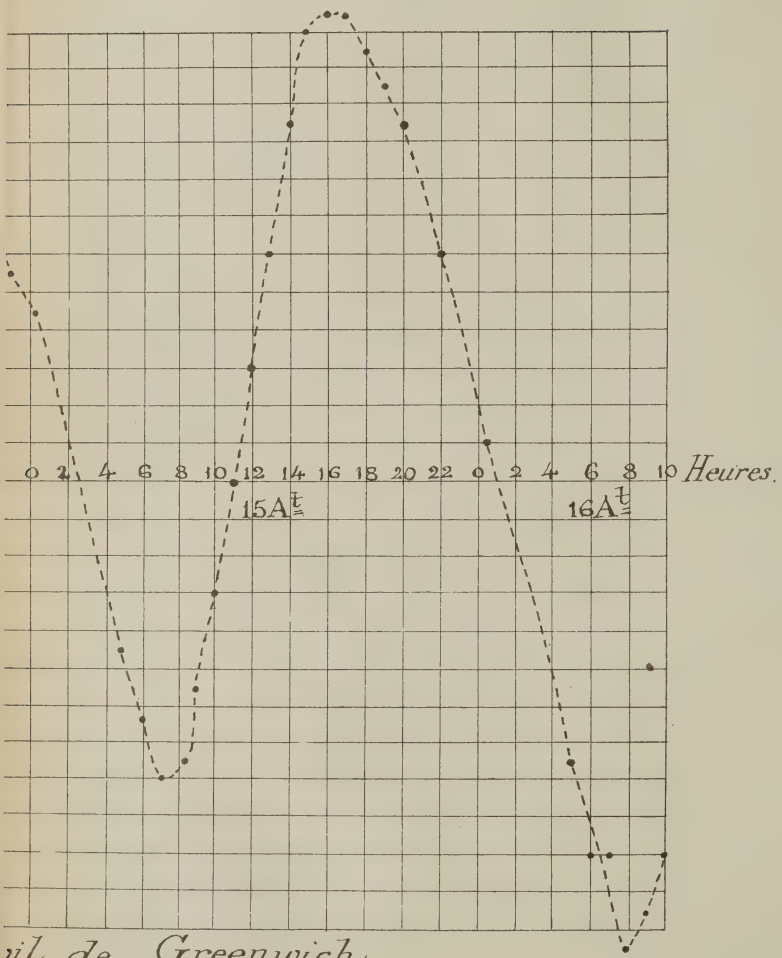
Quoi qu'il en soit, il est certain que le phénomène que j'ai découvert déterminera des variations *apparentes* de la latitude ayant la même période que les marées, et qui sont bien probablement celles que M. Van de Sande-Backhuysen a constatées empiriquement.

La première explication que j'en ai donnée n'en subsiste pas moins; mais il faudrait de longues et nombreuses séries d'observations pour permettre de discerner l'effet de chacune de ces causes dans les variations apparentes de latitude dont je viens de parler.

(*) *Buil. de l'Acad. roy. de Belgique* (Classe des sciences), 1901. p. 520.

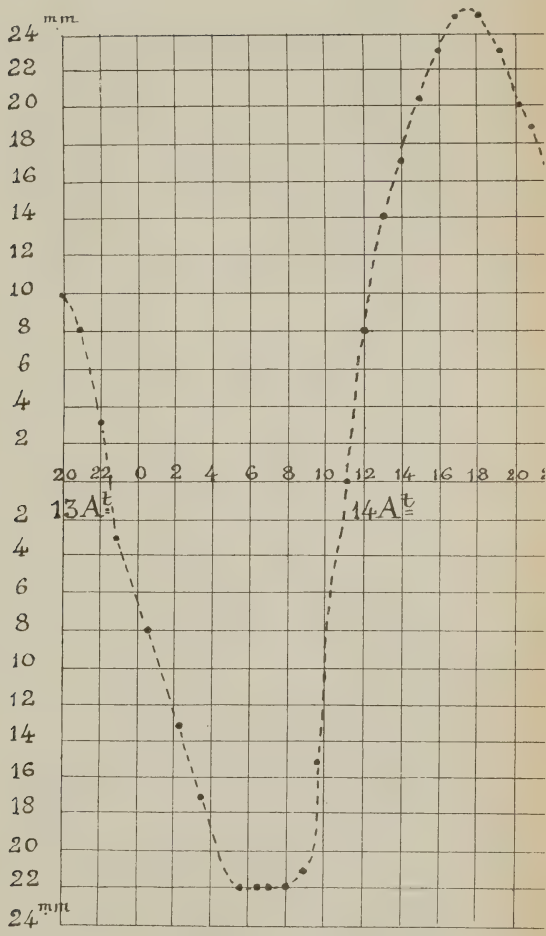
—

du 13 au 16 août 1904.



il de Greenwich.

Observations



Temps c

Complément à la note précédente (6 septembre).

Je joins à cette note le diagramme des observations faites d'une manière continue depuis le 13 août à 8 heures du soir jusqu'au 16 août à 10 heures du matin, au moyen du même pendule qui a servi aux observations précédentes (*) et qui est demeuré intact depuis près d'un an.

On y constatera le caractère semi-diurne bien accentué du phénomène.

Les heures des maxima, des zéros et des minima relevés sur la courbe sont :

Max.			17.5				17			heures;
0		11		2		11		1		
Min.	7				7				8	

et les intervalles de temps respectifs :

4; 6.5; 8.5; 5; 4; 6; 8; 7 heures,

qui donnent une moyenne de 6.1 heures.

L'amplitude des oscillations est, comme dans les diagrammes précédents (**), de 25 millimètres, tant à l'est (•) qu'à l'ouest (—).

Il n'y a pas eu de mouvements sismiques de nature à troubler le moins du monde les lectures. Quelques-uns, très faibles, ont été constatés le dimanche 14 août vers 14^h5^m; ils avaient complètement cessé à 15 heures.

Les points forts du diagramme représentent les lectures faites; ils sont reliés entre eux par un pointillé.

(*) *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique* (Classe des sciences), nº 4, 1904.

(**) *Ibid.*

—

Sur l'isomérisation ; par Maurice Delacre, correspondant de l'Académie.

Le mémoire que j'ai eu l'honneur de présenter à l'Académie dans la séance de juillet dernier, a été l'objet d'un rapport de M. Louis Henry. En vue de faire ressortir les idées qui ont présidé à son développement et les conséquences qu'il permet d'entrevoir, mon vénéré maître m'a engagé à lire moi-même, dans la séance de ce jour, un exposé général de la question que j'ai traitée.

La note que j'ai l'honneur de soumettre à la Classe, sans chercher à résumer mes recherches d'une manière exacte et complète, travail pour lequel il suffirait de mettre bout à bout les conclusions de tous les paragraphes et chapitres de mon mémoire, se bornera donc à jeter un coup d'œil sur le problème.

Les principes de la synthèse organique, fondant la notion de l'enchaînement des atomes de carbone entre eux, ont entraîné les chimistes, il y a quelque quarante ans, à considérer le squelette carboné comme se maintenant fixe dans les combinaisons et comme passant sans modification d'un individu à un autre.

Cette conception se trouvait confirmée ou établie sur la tétravalence du carbone introduite vers la même époque.

Je crois que l'on peut dire, en se maintenant dans les limites de l'histoire, que les promoteurs de cette notion de l'atomicité croyaient à sa réalité objective. Dans

ces conditions, la fixité de la valence, que Kekulé a défendue avec tant de talent, devenait une nécessité philosophique.

A ce point de vue, le développement de la chimie organique a donné en apparence plein succès à la théorie de la valence, et, sans vouloir décider si la constance de l'atomicité du carbone est réelle ou si elle tient à la direction de nos idées et de nos expériences, on peut la considérer comme admise.

Pourtant la valence fixe est opposée à toute idée de transposition moléculaire. Comment imaginer, en effet, qu'une combinaison tétravalente se transforme spontanément en une autre tétravalente, sans passer par une combinaison non saturée? Or celle-ci est, par définition, moins stable. On peut donc dire que si la théorie de la valence explique d'une manière admirable l'isomérie, elle contredit tous les faits relatifs à l'isomérisation.

On aurait tort cependant de croire que ceux-ci n'existent pas. Ils prennent au contraire de jour en jour plus d'importance.

Parmi tous les phénomènes concernant l'isomérisation, il y en a une série que l'on est autorisé à ranger pratiquement dans un groupe isolé. Il s'agit de combinaisons peu stables se transformant dans certaines conditions en isomères très stables. Par le fait, la transformation est *complète* et *non réversible*. Pratiquement, le produit de l'isomérisation ne rappelle plus son origine, ses réactions sont suffisamment éloignées de celles du produit dont il dérive pour être considérées comme absolument différentes.

Pour l'isomérisation complète et non réversible, il n'y

a pas d'inconvénient à conserver le terme de transposition moléculaire.

Le cas de la pinacoline est tout différent.

On savait que la pinacoline présente certains caractères d'une combinaison dissymétrique et l'on en avait conclu que tous ses dérivés *devaient être* dissymétriques. La transformation de la pinacone (combinaison symétrique) en pinacoline était considérée comme un des cas les plus remarquables de transposition moléculaire.

Or l'étude attentive des réactions de la pinacoline crée un genre particulier d'isomérisation, c'est l'isomérisation *incomplète* et *réversible :*

1° La pinacoline s'obtient aussi bien par un composé symétrique (pinacone, bromure de pinacone) que par un composé dissymétrique (acide triméthyl-acétique, bromure de pinacoline);

2° La pinacoline agit dans certains cas quantitativement comme composé symétrique, dans d'autres quantitativement comme composé dissymétrique;

3° Les dérivés dissymétriques de la pinacoline peuvent être ramenés au type symétrique, et les dérivés symétriques au type dissymétrique.

Il suffit de réfléchir à ces faits en s'aidant des données expérimentales de mon mémoire, pour voir qu'ils ne peuvent être rapportés à un accident (impureté de la pinacoline, isomérisation par des causes extérieures).

Si ces faits sont exacts (et je crois avoir pris à cet égard des précautions dont on s'est rarement entouré dans une recherche de chimie organique), la conclusion rigoureuse en est que la pinacoline ne peut être représentée par une formule unique.

Ce corps serait un état d'équilibre entre les deux formules antagonistes précédemment adoptées.

Cette hypothèse rend seule compte de la transformation quantitative en l'un ou l'autre dérivé d'après l'aptitude réactionnelle des deux composés *virtuellement* présents.

Cependant elle apporte à l'idée que nous nous faisons de l'individualité chimique une modification profonde. Pour la motiver, ou du moins pour m'autoriser à ne pas la rejeter sans l'avoir soumise à une critique expérimentale qui sera le but de mes recherches ultérieures, il me suffira de rappeler que la notion de l'individualité chimique est sortie toute faite des théories qui sont à la base de la chimie organique.

Les formules des alcools propylique et isopropylique, par exemple, sont prouvées isolément en tant qu'abstractions et rigoureusement démontrées comme telles. Quant à l'individualité des deux alcools, nous nous imaginons tous qu'elle est représentée respectivement par les deux formules bien connues. Je ne crois pas que la preuve de cette dernière proposition ait jamais été faite.

Pour la fournir, il faudrait démontrer notamment que l'alcool propylique donne des dérivés propyliques exempts de dérivés isopropyliques, et inversement que l'alcool iso ne donne pas de dérivés normaux.

En attendant, nous avons le droit de considérer comme non résolue la question de l'existence des deux alcools propyliques en tant qu'individus isolés répondant à une formule simple. D'ailleurs, il suffit de s'élever de quelques étages dans la série des composés carbonés, et d'arriver par exemple aux alcools amyliques, pour rencontrer des

cas d'isomérisation contraires à tous les principes rigides de la chimie organique tels qu'ils ont été établis par leurs fondateurs.

C'est bien le cas de répéter avec Stas : « ... Parmi les notions fondamentales de la chimie, il en existe une foule, comme dans toutes les autres sciences, que l'on a admises comme étant démontrées et qui sont loin de l'être. »

On voit que, tout en étudiant la pinacoline, c'est la notion de l'individualité chimique qui est devenue le but de mes expériences.

La pinacoline comporte la notion élargie dans le sens que je viens d'indiquer. En est-il de même d'autres liquides voisins, comme par exemple les alcools propyliques? Cette question est inscrite au programme de mes expériences prochaines, et je ne veux nullement en préjuger.

L'étude de la pinacoline rapproche à certains égards ce corps de ceux que l'on a qualifiés de tautomères. Cependant je ne proposerais pas qu'elle leur soit assimilée. J'estime, en effet, que le point de vue auquel je me suis placé est tout différent de celui qui a guidé les études des chimistes dans la tautomérie, isomérie sur la nature de laquelle les expérimentateurs ne sont pas d'accord. D'autre part, avant de maintenir et de généraliser un terme qui semble considérer certains corps comme des exceptions, il est urgent de décider si le phénomène de l'isomérisation n'est pas une simple manifestation de l'équilibre chimique, comme j'ai essayé de le faire entrevoir.

Sur quelques amines à radical alcoolique fluoré (deuxième communication); par Fréd. Swarts, professeur à l'École du Génie civil annexée à l'Université de Gand.

L'action de solutions alcooliques d'ammoniaque sur le bromure de difluoréthyle, à des températures variant de 125° à 145°, a été étudiée dans une précédente notice (*). Elle devient plus complexe quand on opère à des températures plus élevées; l'alcool intervient dans la réaction, agit sur la tétrafluordiéthylamine et forme une amine $C_6H_{11}Fl_4N$, amine tertiaire, dont la formule est :

$$N \left\langle \begin{array}{l} CH_2 - CHFl_2 \\ CH_2 - HCFl_2 \\ CH_2 - CH_3 \end{array} \right.$$

En même temps, l'alcool est éthérifié et il se produit une quantité plus ou moins importante d'éther éthylique.

Cette réaction se fait aussi bien par l'action de 2 molécules d'ammoniaque alcoolique que d'une seule molécule sur le bromdifluoréthane.

Lorsqu'on chauffe entre 160° et 170°, on voit déjà après une heure des cristaux abondants de bromure; la masse de ces cristaux augmente pendant les premières heures, puis elle diminue, et après un jour de chauffe à 170° ils ont presque complètement disparu. A chaud, le contenu

---

(*) *Sur quelques amines à radical alcoolique fluoré* (première communication). [Bull. de l'Acad. roy. de Belgique (Classe des sciences), n° 6, pp. 762-801, 1904.]

du tube est formé de deux liquides non miscibles; le refroidissement fait reparaître partiellement les cristaux, mais la séparation en deux couches persiste.

A l'ouverture du tube, on constate que l'ammoniaque a disparu, même quand on emploie 2 molécules pour 1 molécule d'éther haloïde. Le contenu des tubes a une réaction acide nette et exhale une forte odeur d'éther; si l'on opère à 170°, il est légèrement coloré en brun. La pression à l'intérieur des tubes est nulle.

J'ai filtré les cristaux et séparé les deux liquides à l'entonnoir à robinet. Le liquide le plus dense est une solution aqueuse très concentrée de bromures ammoniacaux, à réaction nettement acide; j'y ai ajouté les cristaux filtrés et j'ai distillé dans le vide au bain de glycérine, jusqu'à siccité. Le liquide distillé ne renferme que de l'eau et une proportion variable d'alcool. Le résidu salin formé de bromure d'ammonium et de bromhydrates d'amines a été fractionné par épuisement méthodique à l'alcool absolu, ainsi que je l'ai décrit dans une précédente communication. Les bromhydrates d'amines traités par la potasse caustique m'ont fourni de la difluoréthylamine et un peu de tétrafluordiéthylamine, que j'ai séparées et purifiées par les méthodes déjà données. Je n'ai pas isolé d'autres produits de ce résidu salin, dans lequel la teneur en amine primaire est toujours de beaucoup supérieure à celle en amine secondaire.

Le liquide léger, à odeur éthérée, n'est pas miscible à l'eau; je l'ai agité à plusieurs reprises avec de l'eau, pour lui enlever l'alcool qu'il pouvait renfermer, puis séché sur du chlorure de calcium. Je l'ai ensuite rectifié au tube de Lebel. La distillation commence à 35° et la majeure partie du liquide distille entre 35° et 40°; le

thermomètre s'élève ensuite rapidement jusque 120°, puis lentement de 120° à 140°. Le produit qui passe de 120° à 140° est constitué en majeure partie par un corps qui bout de 134° à 137°. La distillation se termine à 140° sans laisser de résidu.

Le liquide bouillant de 35° à 40° ne renferme pas de fluor; sa densité à 15° est de 0.722. J'ai déterminé sa densité de vapeur et l'ai trouvée égale à 2.60. Tous ces caractères, joints à son odeur et à son insolubilité dans l'eau, suffisent pour identifier l'éther éthylique.

Le liquide passant de 120° à 140°, séché et rectifié avec soin, donne un peu de tétrafluordiéthylamine bouillant à 124°5, puis un corps qui distille entre 134° et 137°5, sans qu'il soit possible de lui fixer un point d'ébullition absolument déterminé.

Ce produit est insoluble dans l'eau, mais soluble dans les acides forts étendus. La dissolution dans l'acide chlorhydrique évaporée dans le vide fournit de longues aiguilles déliquescentes d'un chlorhydrate qui, décomposé par la soude, régénère le produit primitif.

Celui-ci, soumis à l'analyse, m'a donné des teneurs en C, H et Fl se rapprochant de celles qu'eût fournies la tétrafluortriéthylamine $C_6H_{11}Fl_4N$; néanmoins, la proportion de fluor était trop forte, celle de carbone et d'hydrogène trop faible. Des essais de purification par voie de distillation fractionnée n'ayant pas amélioré les résultats, j'ai eu recours, sans plus de succès, à la méthode de cristallisation fractionnée des oxalates.

J'avais reconnu que le nouveau corps isolé était une base extrêmement faible : ses sels se laissent hydrolyser avec une rare facilité, et j'avais cru trouver dans ce fait la base d'un procédé de purification.

J'ai ajouté à l'amine la quantité calculée d'acide oxalique normal; il s'est fait un précipité cristallin abondant. J'ai distillé la moitié de la solution sans séparer les cristaux d'oxalate. L'eau entraîne avec elle une forte proportion d'amine, que j'ai décantée à l'entonnoir à robinet; $24^{gr}25$ d'amine brute m'ont fourni $19^{gr}1$ d'amine entraînée par la vapeur d'eau. Ce produit, séché sur le chlorure de calcium et distillé, avait un point d'ébullition de 135°8-136°6. Le résidu de distillation m'a donné $5^{gr}34$ d'oxalate de tétrafluordiéthylammonium pur.

La méthode permet donc d'éliminer en grande partie l'amine secondaire associée à $N(C_6H_{11}Fl_4)$, mais n'assure cependant pas une purification complète. J'ai trouvé, en effet, dans le produit ainsi traité, bouillant à 136°, 45.2 % de fluor, au lieu de 43.89 % exigés par la formule.

La seule méthode qui fournisse un produit pur consiste à transformer la tétrafluordiéthylamine qui accompagne la base $N(C_6H_{11}Fl_4)$ en nitrosotétrafluordiéthylamine, que l'on peut séparer facilement. L'amine $N(C_6H_{11}Fl_4)$ est, en effet, une amine tertiaire, sans action sur HNO_2.

On dissout le liquide distillant de 133° à 137° dans 5 parties d'eau et $^1/_2$ partie d'acide sulfurique concentré. Cette quantité d'acide sulfurique est double de celle qu'exige la théorie pour transformer l'amine en sulfate; elle est nécessaire pour assurer la dissolution complète de l'amine.

On ajoute ensuite le nitrite de sodium dissous dans quatre fois son poids d'eau; la quantité de nitrite à mettre en œuvre est d'environ le tiers du poids d'amine, mais un excès ne nuit pas.

La tétrafluornitrosodiéthylamine se précipite ainsi que la majeure partie de l'amine tertiaire. Lorsque le dégagement de vapeurs rouges a cessé, on distille les deux tiers du liquide au bain de glycérine; l'amine tertiaire et la nitrosamine sont complètement entraînées par la vapeur d'eau. On ajoute au liquide distillé de l'acide chlorhydrique étendu; l'amine tertiaire passe à l'état de chlorhydrate soluble, la nitrosamine insoluble est séparée à l'entonnoir à robinet et peut être purifiée par distillation; 36 grammes d'amine brute (point d'ébullition 133°-137°) m'ont donné 5gr2 de tétrafluornitrosodiéthylamine pure.

La solution de chlorhydrate est additionnée de potasse jusqu'à réaction alcaline, puis distillée. L'amine est entraînée par la vapeur d'eau, mais le produit a une odeur prononcée de carbylamine. Celle-ci provient de l'action de la potasse sur une petite quantité d'amine secondaire nitrosée restée dissoute dans l'eau. L'amine séchée est distillée; elle bout entre 136°5 et 138°, le thermomètre se maintenant à 137° pendant presque toute la durée de la distillation; mais cette opération n'enlève pas l'odeur de la carbylamine. On redissout l'amine dans l'acide chlorhydrique concentré; ce dernier détruit peu à peu l'isonitrile, et quand l'odeur de la carbylamine a disparu, on ajoute à la solution un fort excès d'acétate de sodium; l'amine est intégralement précipitée. On l'entraîne par la vapeur d'eau, on décante et l'on sèche pendant plusieurs jours sur du carbonate de potassium fondu. On rectifie enfin au tube de Lebel et l'on obtient un corps pur qui bout à 137° sous 754 millimètres de pression.

Il a pour formule $C_6H_{11}Fl_4N$, comme le prouvent les résultats analytiques suivants :

0gr7214 de substance ont donné :

0gr4061 H_2O, soit 0gr04547 H ou 6.30 °/o
et 1gr0992 CO_2, soit 0gr2998 C ou 41.55 °/o.

0gr9153 de substance ont donné :

0gr8222 $CaFl_2$, soit 0gr40162 Fl ou 43.88 °/o.

	Calculé pour $NC_6H_{11}Fl_4$.	Trouvé.
C	41.59 °/o	41.55 °/o
H	6.38 °/o	6.30 °/o
Fl	43.89 °/o	43.88 °/o.

La densité de vapeur confirme ces données analytiques; elle a été déterminée par la méthode d'Hofmann.

Poids de substance.	Température.	Volume en centimètres cubes.	Pression en millimètres de Hg.	Densité.	Poids moléculaire déduit.
0gr1206	100°	86.8	187.5	5.95	171.24

Poids moléculaire théorique : 172.24.

La tétrafluortriéthylamine est un liquide incolore d'une densité de 1.4941 à 16°. Son odeur n'est pas celle des amines : elle rappelle à s'y méprendre celle de l'acétal monochloré. Elle est presque complètement insoluble dans l'eau (moins de 0.6 °/o); sa solubilité diminue légèrement quand la température augmente.

C'est une amine tertiaire, comme le prouve son indifférence vis-à-vis de l'acide nitreux; sa seule formule pos-

sible, si l'on tient compte de ce fait et de sa genèse, est

$$N < \begin{matrix}(C_2H_5Fl)_2\\ C_2H_5\end{matrix}.$$

Son caractère basique est des moins accusés; elle n'a pas d'action sur les indicateurs, et je n'ai pu en préparer aucun sel d'acide faible. Les solutions aqueuses du chlorhydrate et du sulfate ont une réaction fortement acide; lorsqu'on les fait bouillir, l'amine s'échappe presque complètement avec la vapeur d'eau.

Aussi cette base ne se dissout-elle dans les acides forts étendus qu'à la condition que l'on emploie un fort excès d'acide.

On peut concentrer les solutions de chlorhydrate en le dissolvant dans HCl concentré et en évaporant dans le vide.

Le seul sel que j'aie préparé à l'état solide est le chlorhydrate, que l'on obtient aisément en faisant passer un courant d'acide chlorhydrique gazeux et sec dans une solution éthérée de la base. Il se produit un précipité cristallin abondant, qu'on lave à l'éther absolu et qu'on sèche ensuite rapidement dans un courant d'air sec.

Ce sel est très soluble dans l'eau et déliquescent; il est également fort soluble dans l'alcool, dont il cristallise en longues aiguilles.

Lorsqu'on le conserve dans un exsiccateur à acide sulfurique, on constate qu'après quelques jours l'atmosphère de l'exsiccateur renferme une notable proportion d'acide chlorhydrique et fume à l'air.

Enfermés dans un tube scellé, les cristaux de chlorhydrate subissent des variations continues de forme, tandis que des cristaux nouveaux, de forme et d'aspect changeants, viennent tapisser les parois du verre.

Cette volatilité apparente à froid est plus que probablement due à une dissociation suivie de reconstitution sur les parois plus froides du tube. Dans l'exsiccateur, l'amine étant fixée par l'acide sulfurique, l'acide chlorhydrique reste libre.

Je ne suis pas parvenu à obtenir le sulfate à l'état cristallin. L'amine se dissout dans un excès d'acide sulfurique, et le sulfate peut exister en solution acide; mais dès qu'on neutralise l'excès d'acide sulfurique par le carbonate de baryum, l'odeur caractéristique de l'amine apparaît. La solution neutralisée, filtrée et évaporée ne donne pas de cristaux, mais une masse pâteuse renfermant un excès d'acide sulfurique. Je l'ai reprise par l'alcool, sans parvenir à la faire cristalliser.

La solution aqueuse de tétrafluortriéthylamine, additionnée de soude caustique, réduit lentement à froid, rapidement à chaud, le nitrate d'argent ammoniacal.

Chauffée au rouge dans un tube de verre, la vapeur de cette base se décompose; il se forme notamment de l'acide fluorhydrique et de l'acide prussique.

La conductibilité électrique des solutions d'hydroxyde de tétrafluortriéthylammonium est trop faible pour se prêter à des mesures de quelque précision, en raison de la minime solubilité de l'amine et de son ionisation insignifiante. La conductibilité électrique du chlorure accuse une hydrolyse très profonde, comme le montre le tableau suivant :

V	μ
32	133.9
64	159.2
128	189.1
256	221.7
512	259.3
1024	302.1

Ces mesures ont été exécutées dans des vases à électrodes lisses, les électrodes platinées provoquant une augmentation continue de la conductibilité.

La différence μ_{1024}-μ_{32} atteint 170 environ; elle était de 73 pour le chlorure de tétrafluordiéthylammonium.

Pour déterminer le coefficient d'hydrolyse, j'ai fait une série de mesures en utilisant comme dissolvant une solution saturée de l'amine, mais je ne suis pas parvenu à obtenir une régression complète de l'hydrolyse, la solution saturée de base n'ayant plus une concentration suffisante. C'est ce que prouve le tableau suivant des conductibilités en solution basique. (La conductibilité spécifique de la solution a été soustraite.)

V	μ
32	100
64	105.4
128	110.4
256	114
512	116.2

La différence μ_{512}-μ_{32} est de 16 unités au lieu d'être voisine de 9.

Le coefficient d'hydrolyse devra donc être déterminé par d'autres méthodes, par exemple par la vitesse de saponification de l'acétate de méthyle. Je communiquerai le résultat de ce travail dans un prochain mémoire.

Les données fournies par la mesure des conductibilités électriques nous montrent cependant que la tétrafluortriéthylamine est une base beaucoup plus faible que la tétrafluordiéthylamine; l'introduction du chaînon C_2H_5 dans l'amine secondaire a pour effet de déprimer encore le caractère basique, comme il le fait pour la diéthylamine.

On sait, en effet, que la triéthylamine est une base plus faible que la diéthylamine.

La réaction qui donne naissance à la tétrafluortriéthylamine est intéressante à plus d'un titre, et tout d'abord en raison de l'action directe de l'alcool sur l'amine secondaire avec formation d'eau.

Cette réaction ne se produit pas aux dépens de l'amine secondaire et de l'alcool seuls. J'ai chauffé 2 molécules d'amine secondaire ($28^{gr}2$) avec 5 molécules d'alcool (22 gr.) pendant trois jours à 170°. A l'ouverture des tubes, j'ai constaté qu'il ne s'était pas produit d'éther éthylique.

J'ai additionné le contenu des tubes d'un fort excès d'acide chlorhydrique concentré et j'ai distillé dans le vide jusqu'à sec.

Le liquide distillé ne renfermait aucune base; le chlorhydrate que j'ai séparé par distillation ne m'a donné que l'amine secondaire, quand je l'ai décomposé par la potasse caustique. J'ai obtenu, en effet, $26^{gr}1$ d'amine bouillant à la température absolument fixe de 124°7.

La présence de bromhydrates d'amines primaire ou secondaire est donc indispensable à la réaction. Ce sont également ces sels qui provoquent la formation de l'éther éthylique, dont la production n'est pas moins intéressante que celle de l'amine tertiaire. Il est, en effet, facile d'observer, comme je l'ai fait remarquer plus haut, que dans les premières heures de la réaction se fait une cristallisation très abondante, qui disparaît peu à peu, en même temps que le liquide se sépare en deux couches.

Des expériences directes, faites avec les chlorhydrates de difluoréthylamine et de tétrafluordiéthylamine, m'ont d'ailleurs démontré que ces sels provoquent à haute tem-

pérature l'éthérification de l'alcool. Ils se comportent donc comme le chlorure de zinc, le chlorure stannique et quelques autres chlorures de bases faibles qui, on le sait depuis longtemps, déterminent à chaud la déshydratation de l'alcool et sa transformation en éther.

Le même chlorure de zinc permet aussi de transformer en amines un mélange d'ammoniaque et d'alcool, comme l'ont montré Merz et Gasiorowski (*).

C'est aussi ce que fait le chlorhydrate de tétrafluordiéthylamine vis-à-vis de lui-même. Quand on le chauffe en solution alcoolique au-dessus de 150°, il se transforme en chlorhydrate de tétrafluortriéthylamine. La vitesse de cette réaction est d'autant plus grande que la température est plus élevée, et à 200° elle est presque complète en vingt-quatre heures, en solution à 10 %. Comme il se forme en même temps de l'éther éthylique et de l'eau, cette dernière hydrolyse le chlorhydrate; la base libre, peu soluble, se déshydrate et l'amine passe dans l'éther (**).

On admet généralement que l'éthérification de l'alcool par les chlorures métalliques est due à une hydrolyse de ces sels par l'eau renfermée dans l'alcool; ce serait l'acide chlorhydrique à l'état potentiel qui provoquerait l'éthérification.

S'il en est de même pour les chlorhydrates d'amines, ceux-ci doivent provoquer une éthérification d'autant

---

(*) Merz und Gasiorowski. *Ueber die direkte Ueberführung von Gliedern der Weingeistreihe in Amine.* (Berichte, Bd XVII, p. 623.)

(**) Le chlorhydrate de tétrafluordiéthylamine est partiellement hydrolysé en même temps, et l'éther enlève également l'amine mise en liberté.

plus importante qu'ils sont plus facilement hydrolysables. J'ai démontré dans un travail précédent que le chlorhydrate de difluoréthylamine est beaucoup plus stable que le chlorhydrate de tétrafluordiéthylamine : son action éthérifiante serait donc moins prononcée. Il en est ainsi.

J'ai fait deux expériences comparatives avec des solutions alcooliques des deux chlorhydrates, qui renfermaient 1 gramme de sel dissous dans 10 centimètres cubes d'alcool à 95°.

Ces solutions furent chauffées dans la même étuve à 200° pendant vingt heures. Le contenu des tubes fut alors versé dans un tube gradué, muni d'un bouchon, et étendu d'eau de manière à occuper un volume de 50 centimètres cubes. L'éther se séparant en partie à la surface du liquide, il me fut facile d'en mesurer le volume. J'obtins $1^{cc}35$ d'éther avec le chlorhydrate de l'amine primaire, $3^{cc}2$ avec le chlorure de tétrafluordiéthylammonium (*).

Ces volumes ne représentent évidemment pas la totalité de l'éther formé : il faudrait tenir compte de l'éther dissous dans l'eau alcoolisée. Mais cette expérience suffit à montrer que le chlorure de la base la plus faible a l'action éthérifiante la plus prononcée. A ma connaissance, cette action des sels haloïdes des bases faibles organiques sur l'alcool n'a guère été étudiée jusqu'ici. Je n'ai trouvé dans la littérature concernant l'éther qu'un ancien travail de Reynoso (**) dans lequel il est dit que les chlorhy-

---

(*) J'ajouterai que la tétrafluordiéthylamine s'était presque intégralement transformée en tétrafluorméthylamine.

(**) Reynoso, *Ueber der Etherbildung*. (Journ. für prakt. Chemie, Bd LXIX, 52.)

drates de morphine et de cinchonine, chauffés à 200° avec de l'alcool, donnent lieu à la production de traces d'éther. Comme la cinchonine et la morphine sont des bases assez fortes, il n'est guère étonnant que la quantité d'éther formé soit minime.

Je me propose de poursuivre ces recherches sur l'éthérification de l'alcool par les sels de bases faibles; elles conduiront peut-être, étudiées quantitativement, à une relation intéressante entre la vitesse d'éthérification et les constantes d'affinité chimique des bases organiques.

L'action de l'ammoniaque alcoolique sur le bromure de difluoréthyle donne d'autant plus d'amine tertiaire et secondairement d'éther éthylique que la température à laquelle on exécute la réaction est plus élevée.

Voici les données de trois opérations effectuées à 150°, 160° et 170°.

A 150°. J'ai chauffé 1 molécule-gramme de bromure de difluoréthyle pendant un jour avec 1 molécule-gramme d'ammoniaque en solution alcoolique 4.75 *n*. J'ai obtenu environ 15 grammes d'éther éthylique, 17 grammes d'amine primaire, 8 grammes d'amine secondaire et 21 grammes d'amine tertiaire brute (134°-137°), plus 28 grammes de bromure de difluoréthyle inaltéré. La formation d'éther était peu abondante; aussi le liquide ne s'était pas séparé en deux couches. La production d'eau n'étant pas suffisante, une partie du bromhydrate de tétrafluortriéthylamine reste indemne et se trouve dans le résidu salin de la distillation. Lorsqu'on décompose les bromhydrates d'amines par la soude, on obtient donc une certaine quantité de tétrafluortriéthylamine, qui accompagne la tétrafluordiéthylamine et qu'il est impossible de séparer complètement par distillation fractionnée. Il faut, pour l'isoler, transformer, comme il est dit plus haut, l'amine

secondaire en dérivé nitrosé. Une autre portion de l'amine tertiaire se retrouve dans l'alcool distillé; pour l'en extraire, on ajoute de l'eau au liquide alcoolique, puis on agite avec de l'éther, lequel dissout l'amine. On sèche la solution éthérée sur du chlorure de calcium, qui lui enlève en même temps l'alcool; on précipite la base à l'état de chlorhydrate par l'acide chlorhydrique sec et l'on décompose ce chlorhydrate par la potasse, ou, ce qui vaut mieux, par une solution d'acétate de sodium. L'amine tertiaire obtenue est purifiée par un traitement à l'acide nitreux.

A 160°, le rendement en éther éthylique devient beaucoup plus important; la séparation du liquide en deux couches se fait assez rapidement; $^{9}/_{10}$ de molécule-gramme d'éther haloïde traités pendant quarante-huit heures par 1.8 molécule d'ammoniaque alcoolique 6.31 *n* donnent 35gr5 d'amine tertiaire, 15.3 d'amine primaire et environ 7 grammes d'amine secondaire. J'ai isolé 95 grammes d'éther éthylique (point d'ébullition : 35°-37°) plus 14 grammes de produit bouillant de 37° à 45°, soit environ 110 grammes d'éther ou 68 °/₀ du rendement théorique. L'amine tertiaire est presque intégralement dans la solution éthérée, à l'état libre; la portion restée à l'état de sel est insignifiante.

A 170°, le rendement en éther éthylique devient presque théorique, mais l'angle fluoré de la molécule subit une attaque, peu importante il est vrai; le tube est légèrement attaqué. Le liquide est assez fortement coloré en brun.

Une molécule-gramme de bromure de difluoréthyle traitée par 1 molécule-gramme d'ammoniaque 5*n* donne 97 grammes d'éther, soit 99 °/₀ du rendement théorique; la quantité d'amine secondaire formée est minime

(environ 1 gramme), mais j'obtiens 47 grammes d'amine tertiaire.

J'ajouterai, pour terminer, que l'iodure de difluoréthyle, chauffé dans les mêmes conditions avec de l'ammoniaque alcoolique, donne lieu à une réaction similaire. Comme cet éther haloïde est d'une préparation plus laborieuse que le bromdifluoréthane, je n'ai pas étudié la réaction avec détails et me suis borné à observer la formation d'éther éthylique et des amines précédemment décrites.

Gand, le 2 juillet 1904.
Laboratoire de chimie générale de l'Université.

OUVRAGES PRÉSENTÉS.

Beckenhaupt (*C.*). Die Urkraft im Radium und die Sichtbarkeit der Kraftzustände. Heidelberg, 1904; in-8° (39 p.).

Krakauer (*J.*). Der Lebertran und seine medizinische Verwendung. Berlin, 1904; in-16 (48 p.).

Schaefer (*H.*). Ueber die Stirnwassen der zweihufigen Wiederkäuer oder Artiodactylen. Munich, 1903; in-8° (16 p.).

Linz. *Museum Francisco-Carolinum.* 62. Jahresbericht, 1904.

Vienne. *Landesstationen in Bosnien-Hercegovina.* Ergebnisse der meteorologischen Beobachtungen. 1900, in-4°.

— *K. k. Central-Anstalt... Erdmagnetismus.* Jahrbücher, 1902, in-4°.

Amérique.

Sharwood (*W.-J.*). A study of the double cyanides of zinc with potassium and with sodium. Easton, 1903; in-8° (29 p.).

Elwang (*William-Wilson*). The negroes of Columbia Missouri. A concrete study of the race problem. 1904; in-8° (69 p.).

Ward (*Henry*). Catalogue of the Ward-Coonley collection of meteorits. Chicago, 1904; in-4° (XII-113 p., planches).

Quesada (*Vicente-G.*). Recuerdos de mi vida diplomatica. Mision en Mexico (1891). Buenos-Ayres, 1904; in-8° (164 p.).

Lockyer (*Sir Norman*) and *Lockyer* (*Will.*). The behaviour of the shortperiod atmospheric pressure variation over the Earth's surface. Londres, 1904; in-8° (18 p.).

Londres. *British Association for the advancement of science.* Report of the 73d meeting, held at Southport in 1903.

Rivière (*Ém.*). Conservation des ossements humains et des os d'animaux dans les gisements préhistoriques. Paris, 1904; extr. in-8° (4 p.).

— Bracelets, parures, fétiches, monnaies d'échange. Paris, 1904; extr. in-8° (7 p.).

— I. Quelques observations sur les menhirs en général. II. Les menhirs de la Corrèze. Paris, 1904; extr. in-8° (7 p.).

Piolti (*Gius.*). Gabbro orneblendico e saussurite de Val della Torre (Piemonte). Turin, 1904; extr. in-8° (12 p.).

Naples. *Zoologische Station.* Jahresbericht für 1903.

ERRATUM.

Bulletin, 1904, n° 3, p. 232 : au lieu de *centimètre,* lisez *centième.*

ACADÉMIE ROYALE DE BELGIQUE

BULLETIN

DE LA

CLASSE DES SCIENCES

1904. — Nos 9-10.

CLASSE DES SCIENCES.

Séance du 15 octobre 1904.

M. Léon Fredericq, directeur.

M. le chevalier Edmond Marchal, secrétaire perpétuel.

Sont présents : MM. P. De Heen, *vice-directeur;* G. Dewalque, C. Malaise, F. Folie, Jos. De Tilly, Ch. Van Bambeke, Alfr. Gilkinet, G. Van der Mensbrugghe, Louis Henry, M. Mourlon, P. Mansion, C. Le Paige, J.-B. Masius, J. Neuberg, A. Lancaster, L. Errera, Julien Fraipont, A. Jorissen, Paul Pelseneer, *membres;* Mce Delacre, A. Gravis, Aug. Lameere, F. Swarts, Th. Durand et J. Massart, *correspondants.*

CORRESPONDANCE.

M. le Ministre de l'Intérieur envoie, pour la Bibliothèque de l'Académie, un exemplaire du 4e fascicule, tome XX, des *Archives de biologie*, publiées par MM. Éd. Van Beneden et Ch. Van Bambeke.

— S. Exc. M. Studt, Ministre des Cultes, à Berlin, offre un exemplaire, grand module, en nickel, de la plaquette frappée par le Gouvernement prussien pour commémorer le deux centième anniversaire de fondation de l'Académie royale des sciences de Berlin.

Cette plaquette est signée *A. Vogel fecit.*

— L'Académie de Stanislas, à Nancy, envoie le programme du concours pour le prix Herpin, de 1,000 francs, à décerner au meilleur mémoire sur l'insuffisance actuelle des voies de communication et de pénétration pour le développement économique des départements français de l'ancienne Lorraine, etc.

— La Classe renvoie à l'examen de MM. Delacre et Henry un travail de M. Égide Terlinck : *Recherches sur la déshydratation de l'isodypno-pinacoline α.*

— Hommages d'ouvrages :

1° *Notice sur la vie et l'œuvre d'Émile Laurent;* par Henri Gillot (présenté par M. C. Malaise, avec une note qui figure ci-après);

2° a) *Les milieux homogènes de M. Viola;* b) *Calcul du volume d'une forme cristalline quelconque;* c) *Généralisations des formules d'Euler;* d) *Un lieu de géométrie sphérique démontré par projections stéréographiques;* e) *Aire du triangle formé sur la sphère par trois cercles quelconques;* f) *Sur la formule de la milarite du leucophane et de quelques minéraux voisins;* g) *Sur l'arrangement cristallin du test calcaire de la bélemnite, des oursins et de la tige d'un crinoïde fossiles du Crétacé de Glons;* par G. Cesàro;

3° *Exposé élémentaire des principes de la saccharimétrie optique;* par G. Cesàro et P. Bussy;

4° *Rapport sur la situation de l'industrie minérale et métallurgique dans la province de Liége en 1903;* par Ad. Firket;

5° *Nature intime de l'électricité, du magnétisme et des radiations;* par A. Breydel;

6° *Réponse aux critiques formulées par M. Emm. de Margerie au sujet de la* Bibliographia geologica; par G. Simoens;

7° *Recherches expérimentales sur l'œuf de* Rana fusca; par A. Brachet;

8° *L'infaillible. Paratonnerre creux homogène approuvé par l'État belge. Nouveau traité scientifique et pratique;* par J. Boëns.

— Remerciements.

NOTE BIBLIOGRAPHIQUE.

J'ai l'honneur d'offrir à la Classe des sciences, de la part de M. Henri Gillot, une *Notice sur la vie et l'œuvre d'Émile Laurent* (1).

M. Gillot y apprécie les différents travaux scientifiques de notre regretté confrère, ainsi que sa participation à l'œuvre coloniale.

Il fait ressortir que tous les travaux d'Émile Laurent sont la suite et le résultat d'un vaste plan, préalablement conçu et mené à bonne fin.

C'est un hommage de reconnaissance rendu par un de ses élèves à celui qui fut, en même temps qu'un excellent professeur, un savant de grand mérite. Il protégeait ses bons élèves et guidait leurs premiers pas dans la science.

C. Malaise.

RAPPORT.

Sur l'avis de M. Lancaster, une note intitulée : *Essai d'un thermomètre à graduation mathématique*, par Lucien Gadeaux, à Ath, est déposée dans les archives.

---

(1) Extrait de l'*Ingénieur agricole de Gembloux*, 14e année. Ciney, 1904, 83 pp. in-8° avec photographie.

COMMUNICATIONS ET LECTURES.

Les lois des poids en chimie et la théorie atomique; par Louis Henry, membre de l'Académie.

C'est M. Ostwald qui fut appelé, cette année (1), à l'honneur de faire, devant la Société royale de Londres, la conférence de *Faraday*.

Son discours est intitulé : *Éléments et combinaisons.*

M. Ostwald est un puissant et énergique promoteur de la dynamique chimique; aussi se proposa-t-il, comme il nous l'apprend lui-même, de faire connaître à son brillant auditoire « ce que nous dit la dynamique chi-
» mique concernant le vieux problème de la nature des
» éléments ».

Je ne dois pas dire quel dut être le haut intérêt d'une conférence faite par le fondateur de la grande école de chimie physique de Leipzig, sur un sujet d'une aussi capitale importance, puisqu'il est le problème final que la chimie doit avoir l'ambition de résoudre.

J'ai pris connaissance de la conférence de M. Ostwald dans son texte allemand, je l'ai relue plus tard avec plus de plaisir et de profit dans la traduction française qui en a paru récemment dans le *Journal de chimie physique* de M. Philippe-A. Guye (2).

---

(1) Le 28 avril 1904.

(2) Tome II, nº 7, pp. 377 et suivantes. Année 1904.

M. Ostwald a traité son sujet avec une science toute personnelle et pleine d'originalité. Je ne le suivrai pas dans les développements qu'il lui a donnés, mon intention n'étant pas de m'occuper de cette question ici et en ce moment. Je m'abstiendrai plus encore de toute appréciation sur le fonds de son argumentation. M. Ostwald est de ces hommes dont les travaux n'ont pas besoin d'être loués et à qui l'on doit avant tout la vérité.

C'est à ce point de vue que je me place pour relever, dans son exposé, certaines assertions d'une gravité exceptionnelle, tout à la fois au point de vue de l'histoire et au point de vue de la doctrine.

« Il est possible, dit-il, — je tiens à citer textuellement ses paroles, — de déduire, en se basant sur la » dynamique chimique, les lois fondamentales de la » stœchiométrie, c'est-à-dire la loi des proportions constantes, celle des proportions multiples et celle des » nombres proportionnels. La dynamique chimique permet ainsi d'atteindre ce à quoi l'on n'est pas encore » arrivé jusqu'ici, sans le secours de la théorie atomique. » Elle a, dans cet ordre d'idées, rendu la théorie atomique superflue. »

Et se souvenant qu'il se trouvait dans la patrie de Dalton et qu'il parlait devant ses successeurs, il ajoutait : « Je sais que cette affirmation me placera sur un terrain » plutôt volcanique. »

J'ignore jusqu'à quel point les sombres prévisions de l'éminent conférencier, quant à l'accueil réservé à ses idées, étaient fondées, mais je sais que son affirmation en ce qui concerne la connexité qu'il établit entre la législation pondérale en chimie et la théorie atomique, le place en dehors du terrain de la vérité.

Et c'est pour le faire remarquer à mon tour que je viens en ce moment entretenir la Classe de cet objet.

On connaît déjà sur ce point l'opinion de M. Cannizaro. Notre savant associé était bien qualifié pour donner son avis sur cette question, car il y a une cinquantaine d'années, ses publications ont contribué puissamment à faire sortir la chimie théorique du désordre d'idées où elle était embarrassée et à la faire entrer dans la voie féconde où elle s'avance aujourd'hui d'un pas assuré au milieu de brillants succès. Voici comment s'exprimait M. Cannizaro devant la Société chimique italienne, le 24 juillet dernier, dans sa séance de clôture :

« Il ne me paraît pas exact de dire que jusqu'ici il » n'était possible de déduire les lois stœchiométriques » qu'en s'appuyant sur l'hypothèse atomique, puisque » ces lois ont été déduites de l'expérience et démontrées » par l'expérience, indépendamment de l'hypothèse ou » théorie moléculaire et atomique qui a servi et sert » encore à les expliquer ou pour le moins à les réunir » en un corps de doctrine. L'hypothèse atomique a par- » fois hâté la découverte de quelqu'une de ces lois par le » moyen de l'expérience, mais c'est l'expérience seule » qui les a démontrées, et elle seule est la vraie base sur » laquelle elles sont fondées et reposent. »

En lisant, il y a quelque temps, ces paroles, j'ai éprouvé un sentiment de profonde satisfaction pour une double raison : d'abord parce que, dans leur simplicité, elles replacent sur son véritable terrain une partie capitale, la partie capitale *par excellence* de la chimie théorique, ensuite parce que j'y ai retrouvé, presque dans leur expression verbale, car il n'est guère possible de varier la manière d'énoncer ces vérités, les idées que j'avais

exprimées moi-même sur le même objet, idées qui sont d'ailleurs la propriété commune de tous les chimistes qui s'efforcent de s'élever au-dessus des faits particuliers pour entrevoir les idées générales qui s'en déduisent et la base objective sur laquelle elles reposent.

Dans une lecture que j'eus l'honneur de faire lors de la séance publique de notre Classe, en décembre 1899, guidé moins par esprit de patriotisme que dans l'intérêt supérieur de la vérité historique, je revendiquai, pour notre illustre confrère Stas, le mérite d'avoir déterminé la portée véritable de certaines de ces lois stoechiométriques et de les avoir démontrées, pour la première fois, d'une manière rigoureuse, en se basant sur l'expérience. Au cours d'observations additionnelles dont cette lecture fut suivie après sa publication, j'eus l'occasion de m'expliquer au sujet des relations de connexité logique qui existent entre la législation pondérale en chimie et la théorie atomique, et de marquer ainsi, avec précision, la différence qu'il y a, et qu'il importe de maintenir, entre ces deux parties, dans l'exposition de la chimie générale. Je demande à pouvoir reproduire ici certains passages de cet exposé. Il n'est pas inutile de le faire, car il est toujours utile de rétablir, dans le domaine de la science, la vérité telle qu'elle est, puisque la science n'est au fond que la vérité connue. Parfois même, il peut devenir nécessaire de remplir cette tâche, quelque délicate qu'elle paraisse, car les principes fondamentaux dans les sciences physiques doivent inspirer de la confiance, la dignité de la science y est intéressée autant que son progrès. Or, on compromet ces principes en en modifiant la nature, en les détachant de la base sur laquelle repose leur certitude objective, et le danger auquel ils sont alors

exposés est d'autant plus grand que l'erreur dont ils ont à souffrir pourrait bénéficier de l'autorité d'une haute personnalité scientifique.

Je disais donc dans mes *Notes additionnelles*, en octobre 1900 (1) :

« La législation pondérale et la théorie atomique » constituent deux parties importantes de la chimie » générale. Elles sont étroitement unies, quoique profon- » dément distinctes au point de vue philosophique. Il » est nécessaire, pour éviter de fâcheux mécomptes et de » regrettables malentendus, de ne jamais les confondre » et de conserver à chacune son individualité et son » caractère propre. C'est un point sur lequel je ne crois » pas inutile d'insister une fois encore.

» La théorie atomique est une doctrine, élaborée par » l'esprit, mais fondée sur des faits antérieurs à elle- » même, dont elle peut être regardée comme la consé- » quence légitime. Ces faits primordiaux sont en partie » les dispositions mêmes de la législation pondérale. Ces » dispositions réglementaires ne sont au fond que des » faits de l'ordre expérimental, indépendants de toute » hypothèse et de toute doctrine. En voici la genèse : » l'expérience a révélé et démontré des *faits particuliers ;* » l'induction logique les a élevés dans l'ordre intellec- » tuel en les transformant en faits généraux. Appuyé » sur le principe de la stabilité du monde créé, l'esprit » a étendu leur juridiction jusque dans l'avenir. De là » ces préceptes que nous appelons des *lois* qui règlent les

---

(1) *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique* (Classe des sciences), pp. 688 et suivantes (année 1900).

» rapports des masses matérielles dans leurs actions
» réciproques.

. . . . . .

» Si l'on parvenait à établir *a priori*, du moins en se
» plaçant en dehors de cette législation soigneusement
» écartée, le théorème fondamental de la *théorie atomique*,
» à savoir l'existence de particules insécables, facteurs
» réels des actions chimiques, ayant des poids fixes et
» constants, toutes les lois qui constituent cette législa-
» tion elle-même, lois dont la découverte a été si labo-
» rieuse et dont la démonstration a été plus laborieuse
» encore, s'en déduiraient sans peine et sans effort,
» comme les conséquences nécessaires, inévitables d'un
» principe fécond.

» Procéder ainsi dans l'état actuel de la science chi-
» mique, serait renverser l'ordre logique des choses,
» sinon méconnaître l'histoire.

» Pour apprécier justement dans son origine, son
» développement et sa démonstration, la législation
» chimique pondérale, il faut, de toute nécessité, faire
» abstraction de la théorie atomique. Il est malaisé, je
» l'avoue, de se placer dans cette situation intellectuelle,
» tellement la théorie atomique imprègne nos pensées
» et nos idées en chimie.

» Il en a d'ailleurs toujours été ainsi, et il faut croire
» qu'il en doit être ainsi, puisque ces doctrines sont
» contemporaines, car, sans les confondre, l'histoire ne
» sépare pas Dalton de Proust. »

Et, m'occupant incidemment du sort réservé dans l'avenir à ces doctrines, je disais :

« La législation pondérale nous apparaît comme une

» doctrine certaine, immuable comme la vérité qu'elle
» exprime. Elle conservera ce caractère dans l'avenir. »

C'est à dessein que je viens de reproduire ces dernières paroles. Elles répondaient anticipativement à de récents écrits, insérés dans les revues scientifiques ou les journaux de chimie, où l'on ne parle de rien moins que du renversement des lois fondamentales qui président, au point de vue quantitatif, aux réactions chimiques. J'admire sans doute, et autant que personne, les faits extraordinaires, merveilleux parfois, que l'expérience a révélés dans ces dernières années. Mais par là même qu'ils sont étranges, de caractère énigmatique, pleins de mystère et souvent incompréhensibles encore au regard de nos connaissances actuelles, ce n'est pas une raison pour délaisser celles-ci et proclamer la déchéance des lois les plus solidement assises. Je ne dirai pas que ces voltigeurs de la science qui se complaisent dans ces régions où parfois elle confine au roman, sont des serviteurs inutiles, je dirai qu'ils sont des serviteurs dangereux.

Et passant immédiatement aux destinées futures de la théorie atomique, j'ajoutais :

« Qu'en sera-t-il de la théorie atomique? Conser-
» vera-t-elle son importance actuelle? Pour ma part, je
» le pense et je le présume, mais je me garderais bien
» de l'affirmer.

» En ce moment, la théorie atomique règne dans tous
» les domaines des sciences physiques. Si parfois on la
» conteste, ces contradictions, même les plus sérieuses
» en apparence, restent sans conséquences pratiques.
» C'est justice. Elle a rendu à la science d'inappréciables
» services, en expliquant ou en aidant à expliquer des

» phénomènes nombreux et importants qui, en dehors
» d'elle, constitueraient d'indéchiffrables énigmes. En
» chimie, notamment, elle explique de la manière la
» plus simple et la plus naturelle toutes les prescriptions
» et toutes les règles de la législation pondérale. »

Aujourd'hui, j'irai plus loin et je serai plus catégorique. Je dirai qu'il me paraît bien difficile que les chimistes à l'état actif, c'est-à-dire ceux-là qui dans la pratique du laboratoire se livrent patiemment aux durs travaux de la chimie expérimentale, renoncent à la théorie atomique. On peut la qualifier durement, n'y voir qu'une représentation « grossière » des faits, je le veux bien, mais elle a le mérite d'en être la représentation et la traduction fidèles, car les actions chimiques — on l'oublie facilement et fréquemment — sont essentiellement des actions de désagrégation. Quelles qu'elles soient, elles se passent entre de très petites masses qui échappent à nos regards et à toute mesure. Ce sont ces *atomes* des chimistes qui sont les facteurs vrais des actions chimiques, et eux-mêmes sont les produits de la désagrégation des masses matérielles au moment d'entrer en conflit réactionnel.

M. Ostwald est un adversaire résolu de la théorie atomique, elle a déjà subi antérieurement ses critiques et ses attaques. Il en a même déjà annoncé, si je ne me trompe, la déroute. Et, cependant, elle est encore debout. Il n'avait pas fallu tant de temps que cela à Lavoisier pour ruiner la théorie du *phlogistique*. Quoi qu'il en soit, l'opposition d'un homme qui occupe dans la science contemporaine une situation aussi élevée et qui lui a rendu d'aussi éminents services, est bien de nature

à faire réfléchir ceux qui seraient tentés de voir dans les conceptions atomiques de la chimie moderne autre chose qu'une hypothèse féconde. Cette fécondité immense, inépuisable, semble-t-il, en est l'honneur; elle en fait la force et en est la sauvegarde.

Continuant ses observations au sujet de l'exposé doctrinal de M. Ostwald, M. Cannizaro s'exprime comme suit :

« Après Dalton, beaucoup de chimistes, comme Wal-
» laston et Davy, ont négligé l'hypothèse atomique tout
» en exposant les lois stœchiométriques, sans avoir
» besoin de recourir pour cela à aucune théorie. Nous
» attendons que le professeur Ostwald donne un dévelop-
» pement plus ample à sa tentative pour juger quelle
» clarté et quelle efficacité plus grandes résulteront pour
» les lois stœchiométriques de l'application des principes
» de la dynamique chimique. »

Je me sens à l'aise à la suite de cette déclaration pour dire à mon tour qu'avant d'abandonner les enseignements hypothétiques de la théorie atomique, les chimistes feront sagement d'attendre que les conceptions *énergétiques* par lesquelles on voudrait les remplacer aient fait leurs preuves. Ces conceptions sont, sinon difficiles, moins faciles à saisir par les intelligences que la doctrine ancienne : pour être admises à la faire disparaître, elles doivent affirmer leur utilité non seulement par leur fécondité, car il n'est pas de théorie absolument stérile, mais par leur fécondité plus grande. Ainsi le veut le *bon sens* dont la voix doit être écoutée dans le domaine de la *science* comme dans tous les domaines.

—

Sur l'éther amidé $(H_2N)CH_2 - CH_2(OC_2H_5)$;
par Louis Henry, membre de l'Académie.

Au cours d'un article inséré dans le *Bulletin de l'Académie* pour 1900 (*), intitulé : *Sur les amino-alcools*, je me suis occupé de la *volatilité* dans cette classe de composés à fonctions multiples. J'ai fait remarquer, notamment en ce qui concerne le dérivé en C_2, ce qu'ils présentent d'extraordinaire et en apparence d'exceptionnel sous ce rapport.

Le remplacement, vis-à-vis du carbone, de HO-, 17 en poids, par $-NH_2$, 16 en poids, ne modifie pas sensiblement le poids moléculaire, mais vu la différence considérable qu'il y a dans les points d'ébullition des hydrures de ces radicaux

		Différence.
$H-OH$	Éb. $+100°$	$133°$,
$H-NH_2$	— $-33°$	

la volatilité est profondément modifiée et le point d'ébullition notablement abaissé à la suite d'une substitution de ce genre

$H_3C-CH_2(OH)$	Éb. $+78°$	$-59°$.
$H_3C-CH_2(NH_2)$	— $+19°$	

Il n'en est pas précisément ainsi dans le *glycol éthylé-*

(*) Classe des sciences, pp. 584 et suivantes.

nique $(HO)CH_2 - CH_2(OH)$. Quoique les deux groupements - OH y soient parfaitement identiques, malgré leur différence de valeur fonctionnelle vis-à-vis de certains réactifs, leur remplacement successif par $- NH_2$ détermine, dans le point d'ébullition du composé primitif, des abaissements très notablement différents.

$(HO)CH_2 - CH_2(OH)$	Éb. + 197°	
		− 28°
$(HO)CH_2 - CH_2(NH_2)$	— + 171°	
		− 55°.
$(H_2N)CH_2 - CH_2(NH_2)$	— + 116°	

L'*éthanol-amine* $(HO)CH_2 - CH_2(NH_2)$, éb. 171°, se fait donc remarquer par l'élévation relative de son point d'ébullition. Celle-ci apparaît avec un nouveau degré d'évidence, si l'on compare, au point de vue de leur volatilité respective, des dérivés correspondants en C_2 renfermant les composants $H_2C - Cl$ et $H_2C - NH_2$. Par suite de la différence de volatilité qui existe entre les hydrures des radicaux - Cl et $- NH_2$

$H - Cl$	Éb. − 83°7	
		− 50° (*),
$H - NH_2$	— − 33°	

le remplacement de - Cl, vis-à-vis de C, par NH_2, a pour conséquence une élévation dans le point d'ébullition du composé primitif. Or, on observe sous ce rapport une différence considérable entre les dérivés chlorhydriques

(*) Th. Estreicher.

correspondants, de l'alcool et du glycol, et les dérivés amidés correspondants aussi.

$H_3C - CH_2Cl$	Éb. + 12°	+ 7°
$H_3C - CH_2(NH_2)$	— + 19°	
$(HO)CH_2 - CH_2 \cdot Cl$	Éb. + 130°	+ 41°.
$(HO)CH_2 - CH_2(NH_2)$	— + 171°	

Ce devrait être l'inverse, puisque l'on constate que l'élévation déterminée dans le point d'ébullition par cette substitution est, toutes choses égales d'ailleurs, d'autant plus considérable que le poids moléculaire du dérivé chlorhydrique est plus faible (*).

(*) Voici ce qui se constate en fait :

$H_3C - Cl$	Éb. - 23°	+ 17°
$H_3C - NH_2$	— - 6°	
$H_3C - CH_2 - Cl$	Éb. + 12°	+ 7°
$- CH_2 - NH_2$	— + 19°	
$H_5C_2 - CH_2 - Cl$	Éb. + 46°	+ 3°
$- CH_2 - NH_2$	— + 49°	
$H_7C_3 - CH_2 - Cl$	Éb. 78°	+ 2°
$CH_2 - NH_2$	— 76°	
$H_9C_4 - CH_2 Cl$	Éb. 107°	- 4°
$CH_2 - NH_2$	— 103°	

A partir de cet étage C_3, on voit même que la différence change de signe et devient négative. Les amines sont plus volatiles que les éthers chlorhydriques correspondants.

	Poids moléculaire.
$C_2H_5 - Cl$	64.5
$C_2H_4(OH)Cl$	80 5

Le *chlorure de propyle* primaire $H_3C - CH_2 - CH_2Cl$, qui a pour poids moléculaire 78.5, donc presque celui de la monochlorhydrine éthylénique, bout à 46°, alors que l'amine correspondante $H_3C - CH_2 - CH_2(NH_2)$ bout seulement à 49°-50°.

J'avais attribué l'élévation extraordinaire du point d'ébullition de l'*éthanol-amine* à une réaction *combinative* du composant *alcool* $H_2C - OH$ avec le composant *amine* $H_2C - NH_2$, déterminant vraisemblablement une association *polymoléculaire* se résolvant à 171° en molécules simples $(HO)CH_2 - CH_2(NH_2)$, ainsi que l'indique la densité de la vapeur. On sait, en effet, que les amines se combinent en s'échauffant, quoique moins fortement, avec les alcools libres, de même qu'avec l'eau elle-même. Les amines ne se combinant pas, du moins pas d'une manière directement appréciable, avec les éthers simples, j'avais annoncé que l'*éther amidé* $(H_2N)CH_2 - CH_2(OC_2H_5)$ ne présenterait pas dans son point d'ébullition le caractère extraordinaire que l'on constate dans l'*éthanol-amine* $(H_2N)CH_2 - CH_2(OH)$, et que ses relations de volatilité avec d'autres dérivés en C_2 correspondants, et notamment avec la *mono-chlorhydrine* $(HO)CH_2 - CH_2Cl$, se montreraient normales (*).

(*) *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique* (Classe des sciences), p. 601 (1900).

L'un de mes élèves, M. Vekemans, s'est efforcé, l'an dernier, de vérifier cette supposition en appelant à l'existence l'éther amidé et d'autres composés analogues. Dans ce but, il a fait divers essais, notamment l'hydrogénation du *nitrile éthyl-oxy-acétique* $NC - CH_2(OC_2H)_5$, éb. 135°, composé que j'ai fait connaître autrefois (*) et qui s'obtient aisément par la déshydratation de l'*amide éthyl-oxy-acétique* $(C_2H_5O)CH_2 - CO(NH_2)$. Malheureusement, cette recherche est demeurée sans résultat : il paraîtrait que, sous l'influence de l'hydrogène naissant, le noyau C_2 se scinde, en produisant deux composés mono-carbonés.

Je me proposais de faire reprendre dans mon laboratoire cette question dans le courant de l'hiver prochain et d'utiliser dans ce but l'action de l'*éther iodé primaire* $ICH_2 - CH_2(OC_2H_5)$, composé qui s'obtient sans grande difficulté, sur l'ammoniaque elle-même, mais j'ai appris, dans le dernier fascicule du *Bulletin de la Société chimique de Berlin* (**), paru pendant les vacances, que M. L. Knorr avait préparé ce composé. Après des essais infructueux pour l'obtenir à l'aide de l'éthanol-amine $(H_2N)CH_2 - CH_2(OH)$, il a réussi à le faire aisément par la réaction de l'*éthyl-amine monochlorée* ou *monobromée primaire* sur l'éthylate de sodium

$$(H_2N)CH_2 - CH_2X + NaOC_2H_5 = NaX + (H_2N)CH_2 - CH_2(OC_2H_5).$$

L'*amino-éther* $(H_2N)CH_2 - CH_2(OC_2H_5)$, produit de

(*) Voir *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique*, t. XXXV (2), p. 211 (année 1873).

(**) Tome XXXVII, page 3506. Fascicule paru le 24 septembre 1904.

cette réaction, constitue, selon M. L. Knorr, un liquide soluble dans l'eau, à odeur fortement ammoniacale et *bouillant à 108°-109°* sous la pression de 750 millimètres, toute la colonne mercurielle dans la vapeur. C'est précisément le point d'ébullition de l'*éther chloré primaire correspondant* $ClCH_2 - CH_2(OC_2H_5)$ (*).

Mes prévisions se sont ainsi trouvées parfaitement confirmées, et la régularité, si gravement troublée à l'étage C_2, quant à la volatilité relative dans les dérivés amido-hydroxylés, est rétablie dans les dérivés amido-éthyloxylés correspondants. C'est ce qui résultera à suffisance du rapprochement des points d'ébullition suivants :

a)	$H_3C - CH_2(OC_2H_5)$	Éb. 35°	− 16°
	$H_3C - CH_2(NH_2)$	— 19°	
	$(H_5C_2O)CH_2 - CH_2(OC_2H_5)$	Éb. 123°	− 14° à 15°
	$(H_5C_2O)CH_2 - CH_2(NH_2)$	— 108°-109°	
b)	$H_3C - CH_2Cl$	Éb. + 12°	+ 7°
	$H_3C - CH_2(NH_2)$	— + 19°	
	$(H_5C_2O)CH_2 - CH_2Cl$	Éb. 108°	+ 0°
	$(H_5C_2O)CH_2 - CH_2(NH_2)$	— 108°	

(*) Voir ma notice *Sur les dérivés haloïdes primaires de l'éther ordinaire* (Comptes rendus, t. C, p. 1007, année 1885).

$(C_2H_5O)CH_2 - CH_2 \cdot Cl$	Éb. 108°	+ 0°
ou $C_4H_9OCl = 98.5$		
$(C_2H_5O)CH_2 - CH_2(NH_2)$	— 108°	
$C_5H_{11}Cl$	Éb. + 106°	− 3°.
$= 106°5$		
$C_5H_{11}(NH_2)$	— + 103°	

L'éther amidé bouillant à 108° s'éloigne *extraordinairement* de son dérivé hydroxylé sous le rapport de la volatilité.

$(NH_2)CH_2 - CH_2(OH)$	Éb. 171°	− 63°.
$(NH_2)CH_2 - CH_2(OC_2H_5)$	— 108°	

On n'observe nulle part à l'étage C_2 un abaissement du point d'ébullition aussi considérable du chef de la transformation du composant *alcool* $H_2C - OH$ en composant *oxy-éthylé* $H_2C - OC_2H_5$.

$H_3C - CH_2(OH)$	Éb. 78°	− 43°
$H_3C - CH_2(OC_2H_5)$	— 35°	
$ClCH_2 - CH_2(OH)$	Éb. 130°	− 22°
$ClCH_2 - CH_2(OC_2H_5)$	— 108°	
$(H_5C_2O)CH_2 - CH_2(OH)$	Éb. 135°	− 12°.
$(H_5C_2O)CH_2 - CH_2(OC_2H_5)$	— 123°	

Dans le système bi-carboné général $(X)CH_2 - CH_2(OH)$, le remplacement de l'*hydroxyle* - OH par le groupement équivalent oxy-éthyle $- OC_2H_5$ a pour conséquence générale un abaissement dans le point d'ébullition. Son importance dépend de deux circonstances principales :

a) Du *poids du groupement* X du fragment $X - CH_2$ de ce système. Cet abaissement est d'une manière générale, toutes choses égales d'ailleurs, d'autant plus faible que ce groupement X a lui-même un poids plus considérable.

A ce titre, il est au maximum, d'une manière absolue, dans l'alcool *éthylique* $(H)CH_2 - CH_2(OH)$; d'une manière relative, quand on considère les *alcools homologues* $(C_nH_{2n+1})H_2C-CH_2(OH)$, dans l'alcool *propylique* $(H_3C)CH_2 - CH_2(OH)$

$(H)CH_2 - CH_2(OH)$	Éb. 78°	− 43°
$CH_2(OC_2H_5)$	— 35°	
$(H_3C)CH_2 - CH_2(OH)$	Éb. 97°	− 33°
$CH_2(OC_2H_5)$	— 64°	
$(H_5C)CH_2 - CH_2(OH)$	Éb. 116°	− 24°.
$CH_2(OC_2H_5)$	— 92°	
etc.	etc.	

b) De la nature de ce groupement X. Quelques exemples mettront ce fait suffisamment en lumière.

1° Groupements X, fonctionnellement équivalents, mais différents de poids et d'énergie chimique.

Cl $CH_2 - CH_2(OH)$ 35.5	Éb. 130°		
$- CH_2(OC_2H_5)$	— 108°		− 22°
Br $CH_2 - CH_2(OH)$ 80	Éb. 149°-150°		
$- CH_2(OC_2H_5)$	— 128°-129°		− 20°-22°.

2° Poids presque semblables, mais différence fonctionnelle.

$(HO)CH_2 - CH_2(OH)$ 17	Éb. 197°	
$- CH_2(OC_2H_5)$	— 135°	− 62°
$(NH_2)CH_2 - CH_2(OH)$ 16	Éb. 171°	
$- CH_2(OC_2H_5)$	— 108°	− 63°
$(CH_3)CH_2 - CH_2(OH)$ 15	Éb. 97°	
$- CH_2(OC_2H_5)$	— 64°	− 33°

On voit ici à l'évidence (*a*) qu'il s'exerce une action combinative entre les radicaux - OH et - NH_2 qui n'existe pas entre ces radicaux et les radicaux - CH_3 et - OC_2H_5.

2° Que cette action paraît s'exercer avec une énergie approximativement égale entre - OH et - OH lui-même d'une part, et entre - OH et - NH_2 d'autre part.

La comparaison des densités à l'état liquide de divers de ces dérivés correspondants permet de constater d'une

manière intéressante la réaction combinative du composant $(HO)CH_2$ *alcool* sur le composant $(NH_2)CH_2$ *amine* dans l'*éthanol-amine*.

Le remplacement de HO - dans les alcools par - NH_2 détermine une diminution dans la densité à l'état liquide. Elle a la valeur suivante à l'étage C_5, entre l'alcool propylique normal et la propylamine :

	Densité.
$(H_5C) - CH_2 - CH_2(OH)$	0.8066 à 15°
15 $- CH_2(NH_2)$	0.7222 à 15°
Différence :	0.0844

Entre le *glycol éthylénique* et l'éthanol-amine, cette différence n'est plus que le quart de la précédente.

$(HO)CH_2 - CH_2(OH)$	1.043 à 20°
16 $- CH_2(NH_2)$	1.022 à 20°
Différence :	0.021

Mais entre l'éthanol-amine et l'éthylène-diamine, où cette réaction combinative n'existe plus, cette différence de densité prend une valeur considérable, presque la moitié plus forte que celle que l'on constate entre l'alcool propylique et la propylamine.

$(H_2N)CH_2 - CH_2(OH)$	1.022 à 20°
16 $- CH_2(NH_2)$	0.902 à 15° (*)
Différence :	0.120

(*) Kraut. La densité pour 20° n'est pas indiqu ée. Étant encore plus faible, peut-être deviendrait-elle 0.126 ou 6 fois 0.021.

Ces chiffres 0.0844, 0.021 et 0.120 sont sensiblement dans les rapports 4, 1 et 6.

On peut prévoir que la différence de densité entre $(C_2H_5O)\ CH_2 - CH_2(OH)$ et $(C_2H_5O)\ CH_2 - CH_2(NH_2)$ sera plus considérable que celle que l'on constate entre $(HO)\ CH_2 - CH_2(OH)$ et $(HO)\ CH_2 - CH_2(NH_2)$.

C'est un point que je ne suis pas à même de préciser en fait, M. L. Knorr n'indiquant pas la densité de son *éther amidé* $(C_2H_5O)\ CH_2 - CH_2(NH_2)$.

—

Note au sujet du CALCIUM ; par Louis Henry, membre de l'Académie.

M. Louis Henry présente à la Classe un large échantillon de *calcium*, qu'il tient de la libéralité de MM. les directeurs de l'usine électro-chimique de Bitterfeld, en Prusse (province de Saxe).

Quoique si abondamment répandu dans le règne minéral à l'état de combinaisons, le calcium, comme tel, constituait jusque dans ces derniers temps une véritable rareté, d'un prix tellement élevé que l'usage et l'étude en étaient presque inabordables. Dans le prix-courant de la maison Kahlbaum, de Berlin, daté de mai 1904, ce métal est encore coté à 5 marks le gramme; dans les catalogues d'autres établissements, il en atteint même 20.

Aujourd'hui que la préparation en est devenue industrielle, nul doute que l'habileté de ses fabricants n'en fasse descendre, dans un prochain avenir, le prix au bas niveau du prix actuel du sodium, c'est-à-dire, en gros, à quelques marks le kilogramme.

Le *calcium* a été isolé par Davy, en 1808, peu après la découverte des métaux alcalins et dans les mêmes

conditions. Comme à son origine, il est aujourd'hui encore un métal électrolytique. On peut supposer qu'à l'usine de Bitterfeld, on exploite le procédé breveté de MM. O. Ruff et W. Plato (brevet allemand n° 155731 du 25 juin 1902). Ce procédé consiste essentiellement dans la décomposition par le courant électrique d'un mélange de *chlorure et de fluorure de calcium fondus*. Comme le sodium, l'aluminium, le magnésium, etc., c'est un nouveau cadeau que fait l'électricité à la science et aux arts.

On peut prévoir que le calcium est appelé à faire une brillante carrière dans l'industrie chimique. En attendant, son étude expérimentale qui va pouvoir être reprise et continuée dans d'excellentes conditions, donnera lieu certainement à des travaux du plus haut intérêt au point de vue scientifique.

M. Louis Henry signale, en terminant, combien est féconde, dans ses résultats, l'alliance de la science et de l'industrie et combien sont importants les services mutuels qu'elles sont appelées à se rendre et qu'en fait elles se rendent de nos jours dans tous les domaines.

—

Note sur la conception du zéro absolu; par P. De Heen, membre de l'Académie.

L'un des caractères les plus intéressants de l'évolution des sciences physiques se trouve dans ce fait que les deux méthodes qui se montrent antagonistes, la méthode analytique et la méthode synthétique, arrivent par des procédés bien différents à la même conclusion.

Les considérations émises concernant le zéro absolu présentent sous ce rapport le plus vif intérêt. Nous allons résumer successivement les conclusions *analystes* et les conclusions *synthétistes*.

Le zéro absolu ne peut avoir aucune existence réelle; telle est la conclusion à laquelle sont conduits plusieurs savants de l'école analyste, parmi lesquels nous citerons MM. Pellat, Lippmann, Ariès et Witz.

La démonstration la plus simple, qui est due à M. Ariès, est d'une rigueur absolue : « En poursuivant le tracé des » cycles jusqu'au zéro absolu, nous trouverons finale- » ment une portion d'isotherme sur laquelle la chaleur » absorbée devient nulle. L'isotherme du zéro absolu » représente donc une opération faite sans variation de » chaleur : c'est une adiabatique. Les adiabatiques ten- » dent, en s'approchant du zéro absolu, vers l'isotherme » limite de ce zéro absolu. »

M. Witz nous donne également une élégante démonstration : « Le rendement du cycle de Cornat est égal » à $\frac{T_1 - T_2}{T_1}$, quotient de la chute de température par la » température du foyer. Or si T_2 devenait égal à zéro, » le rendement serait égal à l'unité, quelle que fût la » valeur de T_1, c'est-à-dire quelle que fût la chute de » température, ce qui ne peut être admis (1). »

Telle est la conclusion qui aurait sans doute découragé les synthétistes, à la tête desquels se trouvent Bernouilli, Krönig, Clausius, Maxwell et d'autres, s'ils n'avaient eu conscience que le processus synthétique des sciences physiques diffère totalement du processus analyste.

Un gaz est formé d'éléments ou molécules en mouvement; ce sont les chocs de ces molécules qui déterminent la pression. Si nous diminuons la température, les chocs diminuent, et, finalement, si la vitesse des éléments devient nulle, les chocs et la pression disparaissent, les

---

(1) *Revue des questions scientifiques*, 1904.

éléments s'accumulent *sans mouvement* les uns sur les autres, *la matière est morte*, le zéro absolu est atteint.

Cette conception représente un exemple des plus intéressants d'un stade du mouvement évolutif de la synthèse.

Si l'analyste entre de plain-pied dans la vérité, il en est tout autrement du synthétiste. Aussi n'éludera-t-il pas le sourire de son confrère analyste. Mais il est à remarquer que le synthétiste recherche des vérités d'un *autre ordre*.

De plus, celles-ci apparaîtront progressivement et non tout d'une pièce. Une théorie synthétiste *ne sera jamais parfaite;* car, pour qu'il en puisse être ainsi, nous devrions pouvoir scruter les profondeurs insondables de la substance, ce qui est irréalisable.

Mais s'il en est ainsi, nous pourrons du moins nous rapprocher indéfiniment de la vérité sans jamais l'atteindre complètement, ce à quoi l'analyste ne se résignera jamais : il préfère abandonner la partie si la lumière n'est pas complète.

Les synthétistes n'ont voulu, en créant la théorie des gaz, qu'interpréter une seule manifestation de l'énergie, l'*énergie calorifique*. Ils n'ont nullement songé à interpréter les manifestations électriques et magnétiques. C'est une des raisons pour lesquelles cette théorie est incomplète et doit nécessairement conduire à des discordances. De même qu'une théorie tenant compte de ces dernières manifestations sera encore incomplète parce qu'elle ne tient pas compte du phénomène de la vie et d'autres phénomènes qui nous sont probablement cachés.

En tenant compte des phénomènes magnétiques et électriques, le nombre des conséquences inadmissibles, s'il n'est pas nul, sera tout au moins diminué. Nous nous

serons rapprochés davantage de la vérité que nous ne pourrons jamais atteindre.

Nous avons tâché de montrer, dans nos précédentes recherches, que la notion de l'atome tourbillon jointe à la conception de l'ion dissymétrique aspirant et foulant (1), permettaient déjà de se représenter, dans leurs grandes lignes, les phénomènes électriques et magnétiques, et de concevoir la liaison qui unit ceux-ci aux phénomènes calorifiques.

L'atome n'est plus le petit corps élastique inerte, c'est au contraire un tourbillon renfermant une prodigieuse quantité d'énergie de gyration, tourbillon d'éther entraînant dans son mouvement nos ions dissymétriques, dont l'orientation définit le sens du courant. S'il se déforme, s'il vibre, il y aura induction électromagnétique et vibration lumineuse, si ces vibrations sont assez rapides. Ces *tourbillons vibrants* se comportent dès lors comme des corps pulsants et *déterminant* le mouvement d'agitation des éléments qui est admis dans la théorie des gaz. Donc lorsqu'un gaz absorbe un rayon calorifique, celui-ci n'agit pas directement sur le mouvement d'agitation des éléments, il accroît l'énergie de pulsation des éléments tourbillons, et c'est une fraction de cette énergie qui se transforme ensuite en énergie de translation.

Une deuxième conséquence se dégage de cette conception : l'énergie de vibration *seule* correspondant à l'énergie calorifique, les énergies de gyration correspondent aux phénomènes magnétiques et électriques. Le zéro absolu doit donc se définir, ainsi que nous l'avons admis, comme étant *la température à partir de laquelle*

---

(1) *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique* (Classe des sciences), n° 2, p. 138, 1902.

l'énergie de mouvement (de gyration) de la matière devient constante, et non pas nulle.

Demandons-nous, en concevant ce mécanisme, si une semblable température peut être atteinte, ou mieux, *si à cette température la matière fonctionnerait encore suivant les lois simples que nous connaissons et prévues par la thermodynamique.*

L'analyste conclut avec raison à une absurdité. Le synthétiste doit conclure à un état d'équilibre impossible, à la destruction de la matière. En effet, si petite que soit la distance qui sépare les tourbillons, si faible que soit la température, les tourbillons fonctionneront sans frottement, sans perte d'énergie. Mais s'il en était autrement, si les tourbillons entraient en contact réel, les frottements réciproques détermineraient la destruction du tourbillon, la destruction de l'atome, avec mise en liberté d'une formidable quantité d'énergie. Le zéro absolu est donc incompatible avec l'existence de la matière *telle que nous la connaissons habituellement*. L'analyse et la synthèse aboutissent au même résultat par des chemins bien différents.

Il est impossible de nier l'existence d'une énergie que la matière posséderait encore au zéro absolu. L'aimant subsiste aux plus basses températures. Si l'on soumet un rayon cathodique à un champ magnétique, le premier s'enroule *avec dépense continuelle d'énergie, émise par l'aimant*. On ne peut admettre cependant que celui-ci en renferme en quantité infinie, et cependant ce réservoir d'énergie paraît inépuisable. L'élément matériel se comporte donc comme un volant qui tournerait dans un fluide tourbillonnant, sa masse et sa vitesse lui permettent d'accumuler une énorme quantité d'énergie, laquelle lui

est constamment restituée par le milieu ambiant si elle tend à diminuer par suite d'une dépense quelconque.

Si la quantité d'énergie inhérente à la *substance matérielle* vient à se dissiper, la matière cesse d'exister *sous sa forme habituelle,* et nous voyons apparaître des phénomènes électriques et radio-actifs. Ces symptômes de destruction de la matière se manifestent de préférence aux températures les plus élevées et aux températures les plus basses, c'est-à-dire aux limites de son existence possible. Si, par suite de l'existence de très basses températures et de pressions formidables qui se manifestent au sein des astres, l'état équivalent à celui du zéro absolu se réalise, la matière passe brusquement à l'état cahotique, radiant ou infra-électrique. Les ions sont séparés les uns des autres, projetés avec la vitesse de la lumière; l'atome matériel est détruit. Nous voyons apparaître l'étoile nouvelle (1), avec formidable dissipation d'énergie, éclair gigantesque que l'imagination se refuse à concevoir et production de corps à l'état fragmentaire, de météorites. La nébuleuse apparaît, les ions reprennent lentement au milieu ambiant l'énergie nécessaire à la reconstitution de la matière, un nouveau soleil se produit.

La substance parcourt depuis l'infini des temps un cycle fermé et le parcourra éternellement. L'entropie de l'univers ne tend pas vers une limite. La réalisation du zéro absolu est incompatible avec la nature de la matière elle-même.

---

(1) *Prodrome de la théorie mécanique de l'électricité,* p. 143. Bruxelles, Hayez, 1903.

—

La « Ligne de Weber », limite zoologique de l'Asie et de l'Australie; par Paul Pelseneer, membre de l'Académie.

I.

REMARQUES PRÉLIMINAIRES.

1. — Il est vraisemblablement difficile d'établir des limites biogéographiques également bien applicables à tous les groupes d'organismes. Car, tous ne s'étant pas constitués à la même époque géologique, ils ne se sont pas trouvés en présence de la même configuration des terres et des mers et n'ont pu, conséquemment, subir les mêmes vicissitudes migratoires ni couvrir des aires de dispersion comparables.

Néanmoins, il est incontestable que, dans la variété des populations animales de notre planète, il existe des « aspects » fauniques généraux très différents et que ces aspects caractérisent certaines portions de la surface terrestre (« royaumes », « provinces », « régions », etc.). Dès lors, il est désirable et utile de chercher à déterminer, pour ces diverses régions, des limites mutuelles applicables au plus grand nombre de groupes zoologiques.

2. — D'autre part, il est certain que, dans la nature, une limite biogéographique n'est pas une ligne sans épaisseur et que, nécessairement, le long des bords de ce qu'on appelle deux grandes « provinces » contiguës, il y a un mélange, sur une certaine étendue superficielle, par suite de pénétration réciproque.

Mais en admettant alors, entre ces deux provinces, un territoire spécial « de passage », « région de transition » ou « de mélange », on doublera évidemment les difficultés de la délimitation, par suite de la nécessité de tracer deux lignes-limite, séparant la région de transition de l'une et de l'autre des deux grandes provinces qui viennent s'y terminer.

Et, au surplus, il est bien évident que, dans ce territoire de mélange lui-même, il se trouvera une ligne, — bande plus ou moins large, — d'un côté de laquelle il y a *prédominance* d'éléments d'une province, tandis que de l'autre, il y a prédominance d'éléments de la seconde. Cette ligne peut donc servir utilement à marquer la limite des deux grandes provinces biogéographiques contiguës.

C'est une limite de ce genre qu'on a cherché à tracer entre le monde zoologique boréal (= « Arctogée ») et l'australien (= « Notogée »).

II.

LA LIGNE DE WALLACE.

Pendant très longtemps, la séparation de l'Arctogée d'âvec la Notogée a été considérée comme aussi nette que celle de l'Arctogée et de la Notogée d'avec la « Néogée » (Amérique méridionale) et comme indiscutable.

Il y a une quarantaine d'années, en effet, A.-R. Wallace faisait passer la limite en question entre les îles de Bali et de Lombok (1) et entre Bornéo et Célèbes (2), disant : « The strait » (le détroit entre Bali et Lombok) « is here

(1) Wallace, *The Malay Archipelago,* 6th edit., pp. 9, 13, 14.
(2) *Ibidem,* map, p. 9.

» fifteen miles wide, so that we may pass in two hours
» from one great division of the earth to another, differ-
» ing as essentially in their animal life as Europa does
» from America. If we travel from Java or Borneo to
» Celebes or the Moluccas, the difference is still more
» striking (1). » Et dans son livre sur *The Geographical Distribution of Animals* (1876), il dit, en parlant de cette limite ainsi établie : « To the eastern side of this line,
» the fauna and flora and even the people are essentially
» australian, to the western side, are essentially asiatic. »

Et depuis, dans la plupart des travaux plus ou moins généraux où cette question a été envisagée, et dans la presque universalité des ouvrages servant à l'enseignement de la géographie zoologique, la limite séparative de l'Arctogée et de la Notogée est faite par cette ligne dite « de Wallace ».

Ainsi en est-il notamment pour : 1° Rütimeyer (2); 2° Huxley, qui divise aussi l'archipel malais en une portion indienne et une portion papoue (3); 3° Blyth (4); 4° Semper, qui adopte la ligne de Wallace, surtout entre Bali et Lombok (5), et remarque qu'à Célèbes il y a un mélange d'animaux indiens et australiens (6); 5° Gün-

---

(1) *Ibidem*, p. 14.

(2) Rutimeyer, *Ueber die Herkunft unserer Thierwelt*. Basel und Genf, 1867, p. 11 et carte.

(3) Huxley, *On the Classification and Distribution of the Alectoromorphæ and Heteromorphæ*. (Proc. Zool. Soc. London, 1868, p. 313, et carte, p. 294.)

(4) Blyth, *A suggested new division of the Earth into zoological regions*. (Nature, vol. III, 1871, p. 428.)

(5) Semper, *Die natürlichen Existenzbedingungen der Thiere*. Leipzig, 1880, Bd II, p. 136.

(6) *Ibidem*, p. 142.

ther (1); 6° Gill (2); 7° Reichenow (3), qui tient Célèbes pour australienne; 8° Marshall (4); 9° E. Reclus (5), qui, comme Wallace, donne aussi les deux mondes que sépare la ligne susdite, comme « aussi différents que l'Europe et l'Amérique », en remarquant toutefois que Célèbes ne fait pas, comme Lombok, partie du monde australien; 10° Trouessart (6); 11° Möbius (7), qui range Célèbes et les petites îles de la Sonde à l'Est de Bali, dans la province australienne; 12° Haacke (8); 13° Haeckel (9), qui dit à ce propos : « Ueberschreiten wir die schmale » Meerenge am Südende dieser Grenze (la limite entre » les régions indo-malaise et australo-malaise), die tiefe » Lombokstrasse, so treten wir mit einem Male aus » dem Gegenwart in das Mesozoïscher Zeitalter »;

---

(1) Günther, *An Introduction to the Study of Fishes,* 1880, p. 220.

(2) Gill, *The principles of Zoogeography.* (Proc. Biol. Soc. Washington, 1884, p. 19.)

(3) Reichenow, *Die Begrenzungen zoogeographischer Regionen vom ornithologischen Standpunkt.* (Zool. Jahrb. Abth. f. Syst., Bd III, 1888, p. 699, pl. XXVI.)

(4) Marshall, *Atlas der Tierverbreitung,* 1887 (in Berghaus, Physikalischer Atlas, 3te Auflage), p. 3 et pl. III (n° 54).

(5) Reclus, *La Terre,* t. II, p. 142. — *Nouvelle Géographie universelle,* t. XIV, 1889, pp. 196 et 208, carte, fig. 40.

(6) Trouessart, *La Géographie zoologique,* 1890, pp. 89 et 131, carte, pp. 8 et 9.

(7) Möbius, *Die Tiergebiete der Erde und ihre kartographische Abgrenzung.* (Archiv für Naturgesch., 1891, pl. X, et p. 286.)

(8) Haacke, *Die Schöpfung der Thierwelt.* Leipzig und Wien, 1893, p. 238.

(9) Haeckel, *Zur Phylogenie der australische Fauna.* (Systematische Einleitung in Semon, *Zoologische Forschungsreise im Australie und der Malayische Archipel,* 1. Lief., p. v, Denkschr. Medic. Naturw. Gesellsch., Jena, Bd IV, 1893.)

14° Sharpe (1); 15° H. Forbes (2); 16° Sclater (3), qui fait passer la ligne de Wallace à l'Est de Bali, mais aussi *à l'Est* de Célèbes; 17° Beddard (4), qui considère que Célèbes est probablement australienne; 18° Lydekker, qui tient pour l'ancienneté de la ligne de Wallace et considère Célèbes comme australo-malaise (5); 19° de Lapparent (6); 20° Ortmann, qui adopte plus ou moins complètement la ligne de Wallace, à l'Ouest de Célèbes (7); 21° von Martens, qui, bien qu'il ait précédemment critiqué cette limite en plusieurs endroits, considère cependant qu'elle est peut-être encore la meilleure parmi toutes celles qui furent proposées (8).

On voit donc que, comme le dit Weber (9) : « Die » unglückliche Linie von Wallace hat sich... tief in das » Gehirn zahlreicher Zoologen eingegraben. »

---

(1) Sharpe, *On the Zoogeographical Areas of the World, illustraded by the distribution of the Birds.* (Natural Science, vol. IV, 1893.)

(2) H. Forbes, *Antarctica, a vanished austral Land.* (Natural Science, vol. V, 1894, p. 299.)

(3) Sclater, *The Geography of Mammals.* (Journ. Geogr. Soc. London, vol. III, p. 105, et vol. IV, p. 36, 1894; carte, p. 96.)

(4) Beddard, *A Textbook of Zoogeography*, p. 113, et carte frontispice. Cambridge, 1895.

(5) Lydekker, *A geographical History of Mammals.* London, 1896, pp. 30, 43.

(6) De Lapparent, *Traité de géologie,* 3e édit. Paris, 1900, p. 116.

(7) Ortmann, *Crustacea,* in Bronn's Thierreich, 1900, p. 1287.

(8) von Martens, *Ueber die Abgrenzung zoogeographische Reiche.* (Naturwiss. Wochenschrift, Bd XIX, 1901, p. 99.)

(9) Weber, *Zoologische Ergebnisse einer Reise in Niederländisch Ostindien,* Bd III, p. 473.

III.

IMPERFECTION ET SUPPRESSION DE LA LIGNE DE WALLACE.

Cependant, depuis quelques années, — et principalement après 1890, — la validité de la ligne de Wallace a été contestée; et deux solutions se sont fait jour pour la remplacer :

1. Constitution d'une région de transition;
2. Déplacement de la limite vers l'Est.

1. — *Constitution d'une région de transition.*

Entre l'Asie et l'Australie, il est proposé d'intercaler une région de passage ou de mélange plus ou moins étendue. Déjà avant Wallace, S. Müller considérait Célèbes, Flores, Timor et Buru comme formant un territoire de ce genre (1). Et Wallace lui-même, parlant des régions orientale (ou indienne) et australienne et de Célèbes, dit de cette dernière qu'elle est : « debatable, hardly belong- » ing to either region (2) », contradiction qui a déjà été relevée par P. et F. Sarasin, dans leur ouvrage sur Célèbes (3).

---

(1) S. Müller, *Ueber den Character der Thierwelt auf den Inseln des indischen Archipels, ein Beitrag zur zoologische Geographie.* (Arch. f. Naturgesch., Bd XII, 1846, p. 109.)

(2) Wallace, Article *Distribution,* in Encyclopaedia Britannica, 9th edit., 1877, p. 272.

(3) P. und F. Sarasin, *Materialen zur Naturgeschichte der Insel Celebes,* Bd III, 1901, pp. 144 et 148.

Depuis Wallace, cette idée d'une région de transition se trouve encore partagée et appliquée par :

1° Forsyth Major, pour lequel une région « austro-malaise » est constituée par la province indo-malaise de la région orientale et par une partie de la province austro-malaise de la région australienne (1);

2° Heilprin, qui constitue une région austro-malaise de transition, à l'Est de la ligne de Wallace, jusqu'à la Nouvelle-Guinée (2);

3° von Martens (3), qui est d'avis que Timor, Célèbes, les Philippines et les îles de la Sonde à l'Est de Java constituent un territoire de mélange entre les deux mondes asiatique et australien;

4° Flower et Lydekker, qui admettent une région austro-malaise de transition (4);

5° Kükenthal, qui, combattant la ligne de Wallace (5), trouve que « bis Celebes und Flores einschliesslich haben » wir ein verarmte indische Fauna, und da tritt ein » *Mischgebiet* auf, das je weiter wir nach Osten kommen, » um so reiner australisch wird ».

---

(1) Forsyth-Major, *Zoogeographische Uebergangsregionen.* (Kosmos, 1884, p. 113.)

(2) Heilprin, *The geographical and geological distribution of animals,* 1887, p. 107 et carte I.

(3) von Martens, *Banda, Timor und Flores, Tagebuchnotizen.* (Zeitschr. d. Gesellsch. f. Erdkunde, Bd XXIV, 1889, p. 104.)

(4) Flower and Lydekker, *An Introduction to the Study of Mammals living and extinct,* 1891, p. 102.

(5) Kükenthal, *Ergebnisse eines zoologischen Forschungsreise in der Molukken und Borneo.* (Abhandl. Senkenbergische Gesellsch. Frankfürt, Bd XXII, 1896, p. 131.)

2. — *Déplacement de la limite vers l'Est.*

La seconde solution qui s'est manifestée tend à reporter la limite séparative vers l'Est, plus ou moins loin, soit dans la partie Nord (donc à l'Est de Célèbes), soit pour la presque totalité de l'archipel malais.

1° Une des plus anciennes tentatives faites dans ce sens est celle d'Allen, pour qui il y a une province insulaire ou malaise, entièrement séparée de l'Australie et dépendant de la région indienne, la limite passant à l'Ouest des Moluques (1).

2° Mais cette manière de voir à un point de vue général n'avait guère trouvé d'appui pendant assez longtemps. Et ce n'est que plus récemment et principalement par les travaux de Max Weber que sa juste valeur a été de nouveau démontrée.

Avant de diriger la brillante expédition du *Siboga* dans les mers de l'archipel malais, ce distingué naturaliste avait, en effet, exploré diverses îles de cet archipel, au point de vue de leur faune terrestre et d'eau douce; et par ses diverses recherches, il fut bien établi qu'*il n'y a pas de limite zoologique tranchée entre Bali et Lombok* (2), que les petites îles de la Sonde possèdent une

---

(1) Allen, *The geographical distribution of the Mammalia considered in relation to the principal ontological regions of the Earth, and the Laws that govern the distribution of animal Life.* (Bull. geol. and geogr. Survey, IV, 1878, p. 362.)

(2) Weber, *Die Süsswasserfische der Indischen Archipels, nebst Bemerkungen über der Ursprung der Fauna von Celebes.* (Zool. Ergebnisse einer Reise in Niederländisch Ostindien, Bd III, 1894, p. 476.)

faune *asiatique* appauvrie et que Célèbes a une faune dont le caractère prédominant est indien et *nullement australien* (1). Et depuis, Weber a maintes fois insisté sur ce caractère indien prédominant de la faune de Célèbes (2).

3° Kükenthal, tout en admettant un territoire de mélange dans la partie la plus orientale de l'archipel malais, combat la ligne de Wallace, la déplace vers l'Est, tant dans la partie Sud (3) que dans la partie Nord (4), où il reconnaît les grandes différences entre Célèbes et les Moluques.

4° Semon constate que la région en question possède un caractère indien et fait passer la limite à l'Est de Célèbes (5).

5° Kirchhoff unit à la région indienne la zone indo-malaise, jusqu'à Célèbes et Timor inclus (6), et insiste sur ce fait que Célèbes n'est pas australienne (7).

6° Jacobi place Célèbes dans la région indienne et

---

(1) *Ibidem*, p. 472.

(2) Weber, *Die Niederländische « Siboga » - Expedition zur Untersuchung der marinen Fauna und Flora des Indischen Archipels und einige ihrer Resultate.* (Petermann's Mittheilungen, Bd XLVI, 1900, p. 185.) — *Der Indo-Australische Archipel und die Geschichte seiner Tierwelt*, 1902, pp. 31 et suiv.

(3) Kükenthal, *Ergebnisse eines zoologischen Forschungsreise in der Molukken und Borneo.* (Loc. cit., p. 131.)

(4) *Ibidem*, p. 129.

(5) Semon, *Im Australischen Busch und an den Küsten der Korallenmeeres*, 1896, pp. 486, 487.

(6) Kirchhoff, *Pflanzen- und Tierverbreitung*, 1899, carte, p. 232.

(7) *Ibidem*, p. 259.

déclare (1) que : « Eine Wallace'sche Linie besteht » nicht. » — « Vielmehr sind die kleinen Sunda-Inseln » und Celebes mit in das arktogaeische Reich einzube- » ziehen. » Pour lui, la limite Est de la région indienne passe au delà de Timor et de Célèbes, la Notogée ne renfermant que la Papouasie, l'Australie, la Polynésie et la Nouvelle-Zélande.

7° Osborn comprend aussi Célèbes et les petites îles de la Sonde dans la région orientale ou indienne (2).

8° Enfin, P. et F. Sarasin conservent, il est vrai, une ligne séparant Bornéo et Célèbes (3), mais *dans un tout autre sens que Wallace* et seulement pour indiquer que Célèbes n'a pas reçu d'acquisitions fauniqes de Bornéo, comme de Java, des Philippines, etc., parce qu'elle en a été constamment séparée. Mais cette ligne, pour eux, ne divise nullement l'archipel en deux portions : asiatique et australienne (4) ; ils reconnaissent que Célèbes a un caractère oriental (javano-philippinien) prédominant pour les divers groupes zoologiques (5) et que cette île est moins australienne que les Moluques (6).

---

(1) Jacobi, *Lage und Form biogeographische Gebiete.* (Zeitschr. Gesellsch. f. Erdkunde, Bd XXXV, 1900, pl. VII, p. 169.)

(2) Osborn, *The Geological and Faunal Relations of Europe and America during the Tertiary Period and the Theory of successive Invasions of an African Fauna.* (Science, p. 564, chart. D.)

(3) P. und F. Sarasin, *Materialen zur Naturgeschichte der Insel Celebes,* Bd III, 1901, carte, p. 146.

(4) *Ibidem,* p. 145.

(5) *Ibidem,* pp. 125 et 157.

(6) *Ibidem,* p. 87.

IV.

CONSIDÉRATIONS FAUNIQUES.

Des deux solutions ci-dessus (1, constitution d'un territoire de mélange ou région de transition; 2, déplacement de la limite vers l'Est), la première est une solution hybride et en vertu de laquelle il faut remplacer une limite par deux autres, sur la position desquelles il y aura peut-être encore plus de contestations.

Sans doute, comme on le verra plus loin, il y a une légère pénétration réciproque des deux provinces (indienne et australienne) l'une dans l'autre; mais il en est ainsi partout, et nulle part une limite zoologique n'est une ligne sans deuxième dimension.

Quant à la seconde, elle s'appuie sur des recherches fauniques nombreuses, relatives aux divers groupes zoologiques, et dont les résultats sont très uniformément opposés à la ligne de Wallace : c'est ce que montrent les diverses indications ci-après. J'aurais pu multiplier celles-ci; mais j'ai préféré les limiter aux groupes les plus étudiés : Vertébrés et Mollusques, en laissant de côté Arthropodes, Oligochètes et Planaires terrestres, bien que, pour certains d'entre ces derniers, ce qui est connu confirme que le détroit de Lombok est une limite sans importance (1).

---

(1) WEBER, *Der Indo-Australische Archipel, etc.*, p. 28.

1. — Pour les *Mammifères* (1) :

1° Allen (2) transporte la limite à l'Ouest des Moluques;

2° Jentinck (3) constate qu'il n'y a pas de différence entre les deux côtés de la ligne de Wallace;

3° Sclater (4) établit que les Mammifères de Célèbes appartiennent à la région orientale ou indienne;

4° Lydekker (5) rattache Célèbes, par ses Mammifères, à la région orientale;

5° Matschie (6), tout en reconnaissant que la limite Nord-Ouest de l'Australie n'est pas une ligne étroite, ne comprend, dans la région australienne, rien que l'Australie proprement dite, la Nouvelle-Guinée, les îles de la mer de Banda et l'archipel de Bismark.

2. — Pour les *Oiseaux :*

1° Sclater (7) rattache les Oiseaux de Célèbes à la faune orientale ou indienne;

2° Meyer et Wigglesworth (8), parlant de Célèbes,

---

(1) Depuis longtemps, les ethnographes savaient que pour les *raçes humaines,* la limite passe plus à l'est que la ligne de Wallace.

(2) Allen, *The geographical distribution of the Mammalia, etc.* (Loc. cit.)

(3) Jentinck, *Eenige bemerkingen betreffende de Zoogdieren, etc.* (Tijdschr. K. Nederl. Aardrijksk. Genootsch. [2], t. VI, 1889, p. 246.)

(4) Sclater, *The Geography of Mammals.* (Loc. cit.)

(5) Lydekker, *A geographical History of Mammals,* 1896, p. 48.

(6) Matschie, *Geographische Frage aus der Saugethierkunde.* (Zeitschr. Gesellsch. f. Erdkunde, 1897, p. 247.)

(7) Sclater, *The geographical distribution of Birds*, p. 19, Ibis, 1891.

(8) Meyer and Wigglesworth, *The Birds of Celebes and the neighbouring Islands.* Berlin, 1898.

s'expriment comme suit : « The relation of its Birds with » the oriental Region is more than twice as strong as » with the Australian Region. » Pour eux, la faune ornithologique de Célèbes est essentiellement d'origine asiatique.

3 et **4**. — En ce qui concerne les *Reptiles* et les *Batraciens*, la ligne de Wallace est sans valeur pour eux, d'après Boulenger; pour les Batraciens, la limite est à l'Est de Célèbes (1); et à propos de cette île, il dit : « There is no justification for Wallace's line, so far as » Reptiles and Batrachians are concerned (2). »

5. — Au sujet des *Poissons*, Weber (3) a reconnu que la faune de Célèbes a un caractère indien appauvri, mais nullement australien, et que les Cyprinoïdes, éminemment indiens et manquant dans la Notogée, existent aussi bien à l'Est qu'à l'Ouest du détroit de Lombok (4).

6. — Pour les *Mollusques :*

1° von Martens a depuis longtemps combattu la ligne de Wallace (5) et a fait ressortir que le détroit de Lom-

---

(1) Boulenger, *Catalogue of the Batrachia salientia in the British Museum,* 1882, p. 111.

(2) Boulenger, *A Catalogue of the Reptiles and Batrachians of Celebes, etc.* (Proc. Zool. Soc. London, 1897, p. 197.)

(3) Weber, *Die Süsswasserfische der Indischen Archipels, etc.* (Loc. cit., pp. 468, 472.)

(4) Weber, *Der Indo-Australische Archipel und die Geschichte seiner Tierwelt,* 1902, p 26 : une espèce de *Rasbora,* à Lombok.

(5) von Martens, *Landschnecken gesammelt auf der Preuss. Expedition nach Ost-Asien,* 1867, pp. 421 et suiv. — *Landschnecken des Indischen Archipels,* in Weber, *Ergebnisse,* Bd II, 1892, p. 263.

bok n'est pas une limite pour les Mollusques terrestres et fluviatiles et qu'elle est même « imaginaire » pour ces derniers (1);

2° Fischer constate que « ces îles (les petites îles de » la Sonde), coupées par la ligne de Wallace (qui sépare, » entre Bali et Lombok, la faune malaise de la faune » polynésienne), ne présentent pas de grandes différences » entre elles au point de vue de leur population malaco- » logique (2) »;

3° Cooke (3) déclare que « Wallace line is abso- » lutely non existent, so far as the land mollusca are » concerned »; il constate, en outre, que Célèbes appartient à la région orientale (indienne), par la prédominance des éléments indiens de sa faune;

4° Hedley (4) rattache à la région orientale non seulement tout l'archipel malais, mais encore les sous-régions papouasienne, polynésienne et mélanésienne;

5° Kobelt combat la validité de la ligne de Wallace et fait passer la limite dans Célèbes même (5);

6° Simpson, étudiant spécialement les Unionides (ou Najades) (6), range tout l'archipel malais et la Nouvelle-Guinée dans la région orientale;

---

(1) von Martens, *Süss- und Brackwasser-Mollusken des Indischen Archipels.* (Weber, *Ergebnisse,* Bd IV, 1897, p. 298.)

(2) Fischer, *Manuel de conchyliologie,* 1881, p. 243.

(3) Cooke, Shipley and Reed, *Molluscs and Brachiopods.* (Cambridge Natural History, vol. III, 1895, pp. 309-310.)

(4) Hedley, *Mollusca of the oriental Region.* (Journal of Malacology, vol. IV, 1895, p. 55.)

(5) Kobelt, *Studien zur Zoogeographie,* I, 1897, p. 47.

(6) Simpson, *Synopsis of the Najades or pearly fresh water Mussels.* (Proc. U. S. Nat. Museum, vol. XXII, 1900, p. 505, pl. XVIII.)

7° Enfin, P. et V. Sarasin constatent, pour Célèbes, une prédominance des éléments javano-philippiniens (1).

*
* *

De sorte que les divers *spécialistes* sont d'accord pour condamner la ligne de Wallace, dans le groupe qu'ils étudient. Dès lors, on ne s'expliquerait pas qu'elle puisse être maintenue dès qu'on se place à un point de vue général : le simple intérêt historique qu'elle peut présenter, aux yeux de certains naturalistes, est tout à fait insuffisant pour la faire conserver. Elle ne correspond pas à la réalité des faits ; elle doit donc être abandonnée.

Les données ci-dessus permettent en même temps de déterminer, de la manière suivante, par où doit passer la limite qui la remplacera.

V.

LA LIMITE ZOOLOGIQUE ET GÉOPHYSIQUE DE L'ASIE ET DE L'AUSTRALIE.

1. — Toutes les observations les plus récentes montrent que la séparation zoologique de l'Asie et de l'Australie doit se trouver plus à l'Est que la ligne de Wallace, et notamment entre Célèbes et les Moluques (comme Weber l'a déjà indiqué) (2) et entre Timor et les archipels Kei et Aru.

---

(1) P. und F. Sarasin, *Materialen zur Naturgeschichte der Insel Celebes*, Bd III, 1901, p. 60.

(2) Weber, *Der Indo-Australische Archipel, etc.*, 1902, pp. 33-34.

Le détroit des Moluques est, en effet, la limite orientale des formes asiatiques de la faune ornithologique de Célèbes (Meyer et Wigglesworth); les Reptiles et Batraciens de Célèbes ont des relations beaucoup plus grandes avec ceux de Java, etc., qu'avec ceux des Moluques (Boulenger); et ceux de ces dernières îles (Amboine) sont reliés aux formes de la Nouvelle-Guinée (Böttger); dans l'ensemble, les îles à l'Est du détroit des Moluques ont un caractère australien, opposé à celui de Célèbes.

D'autre part, les genres asiatiques de Mammifères s'étendent jusqu'à Timor; un seul genre y est australien (*Phalanger*), tous les autres sont indiens. Il en est de même pour les Mollusques terrestres. Et dans l'ensemble, la faune ne renferme qu'extrêmement peu de formes australiennes. Tandis qu'Aru et Kei sont étroitement rattachées, par leur faune, à la Nouvelle-Guinée et à l'Australie, ce qui s'explique par le fait qu'à l'époque pliocène, Timor était reliée aux îles de la Sonde et non à l'Australie (1), alors qu'Aru et Kei étaient rattachées à cette dernière pendant les temps tertiaires.

En résumé, les îles de l'archipel malais, jusqu'à Célèbes et Timor inclusivement, ont un *caractère zoologique indien prédominant* et la limite des régions indienne et australienne (et conséquemment de l'Arctogée et de la Notogée) passe à l'Est de Célèbes et de Timor.

Sans doute, il y a divers cas de pénétration mutuelle des deux districts, ce qui donne une apparence de mélange aux deux côtés de la limite.

---

(1) P. und F. Sarasin, *Materialen zur Naturgeschichte der Insel Celebes*, Bd III, cartes, pp. 132 et 134.

Les exemples peut-être les plus caractéristiques sont le genre australien *Phalanger*, présent à Célèbes et à Timor, et le genre arctogéen *Clausilia*, présent aux Moluques. Mais ces divers cas n'infirment aucunement le fait général incontestable de la limitation mutuelle des deux aspects fauniques.

Et, d'autre part, la limite zoologique ainsi fixée se trouve nettement confirmée par la connaissance de la limite géophysique de l'Asie et de l'Australie.

2. — A la fin de l'époque secondaire (1) et probablement jusqu'au commencement du Crétacé (2), l'Asie et l'Australie étaient réunies en une seule grande masse continentale (ce qui permit à divers grands groupes préexistants de se répandre des deux côtés de la ligne séparative actuelle, chose que n'ont pu faire les subdivisions zoologiques nées plus récemment).

Mais, dès la fin du Crétacé (et sûrement à l'époque éocène), les deux continents furent complètement séparés par un vaste bras de mer joignant les deux océans Pacifique et Indien.

Cette séparation de l'Australie d'avec l'Asie doit avoir marqué son empreinte sur la configuration sous-marine de l'archipel malais. Aussi est-ce dans celle-ci que l'on trouvera des indications importantes et convaincantes sur la région dans laquelle la rupture s'est opérée. Car

---

(1) Pendant la période jurassique. (NEUMAYR, *Erdgeschichte*, 1re édit., Bd I, p. 345.)

(2) ORTMANN, *The geographical Distribution of freshwater Decapods and its Bearing upon ancient Geography*. (PROC. AMER. PHILOS. SOC., vol. XLI, carte 5, p. 379.)

dans le creusement qui s'est effectué entre les deux continents, la ligne sur laquelle existent les plus grandes profondeurs indique, avec le plus de vraisemblance, la direction suivant laquelle la séparation a commencé et suivant laquelle, conséquemment, les deux faunes ont été le plus complètement et le plus longuement séparées.

C'est pourquoi des considérations de cette nature avaient déjà été évoquées par Wallace (1), à l'appui de sa division de l'archipel malais; les grandes profondeurs que l'on supposait dans le détroit de Lombok (2) donnaient une apparente confirmation à la ligne séparative qui y passait : c'est par là, en effet, que se trouve le mieux indiquée la séparation des terres émergées.

Cette notion du « profond détroit de Lombok » a été répandue par l'atlas de Berghaus (3), par E. Reclus (4), par Haeckel (5), qui s'appuyait sur cette particularité pour étayer la disjonction des faunes indo-malaise et austro-malaise.

Cependant, déjà en 1872, cette disposition hydrographique paraissait au moins incertaine, et sa confirmation était considérée comme nécessaire, lors de la préparation de l'expédition du *Challenger;* les recommandations données par la Société royale de Londres renferment, en

---

(1) Wallace, *The Malay Archipelago*, 6th edit., p. 9.

(2) Dans *Island Life,* 3th edit, 1902, Wallace attribue encore plus de 1,000 brasses (1,853 mètres) de profondeur au détroit de Lombok.

(3) Berghaus, *Physikalischer Atlas,* 3e édit., pl. XXV (datée de 1883, éditée en 1888).

(4) Reclus, *Nouvelle Géographie universelle,* t. XIV, p. 421.

(5) Haeckel, *Zur Phylogenie der Australische Fauna.* (Loc. cit., p. v.)

effet, ces lignes (1) : « The hydrographical examination » of the « Wallace line » in the Malay Archipelago, is » of great importance, considering the significance of » that line as a boundary between two distributional » provinces. »

Et, en 1896, Kükenthal, s'aidant de renseignements plus récents, déclare (2) : « Aber auch die hydrogra- » phische Verhältnisse welche Wallace dafür heranging » sprechen nicht dafür », et il indique qu'il existe une « scharf Trennungslinie zwischen Celebes und Halma- » hera » (Moluques). Il fait donc remarquer que les relations hydrographiques ne sont pas en faveur de la ligne de Wallace et que, à ce point de vue, la séparation doit être entre Célèbes et les Moluques — le thalweg passant à l'Est de Célèbes et de Timor.

*
* *

La solution définitive de cette question se trouve donnée par les observations récentes et précises du *Siboga* (Max Weber, 1899-1900) (3).

1° Elles ont montré que le soi-disant *profond* détroit

---

(1) *Narrative of the Cruise,* vol. I, p. 32.

(2) Kükenthal, *Ergebnisse eines zoologischen Forschungsreise in der Mollukken und Borneo,* Loc. cit., carte 3 (Kartenskizze der Meerestiefen im Malayische Archipel, avec indications des profondeurs de 100, 500, 1,000, 2,000, 3,000, 4,000 et 5,000 brasses) et p. 130.

(3) Tydeman, *Hydrographic results of the Siboga-Expedition* (Siboga Expeditie, III, 1903, chart. I).

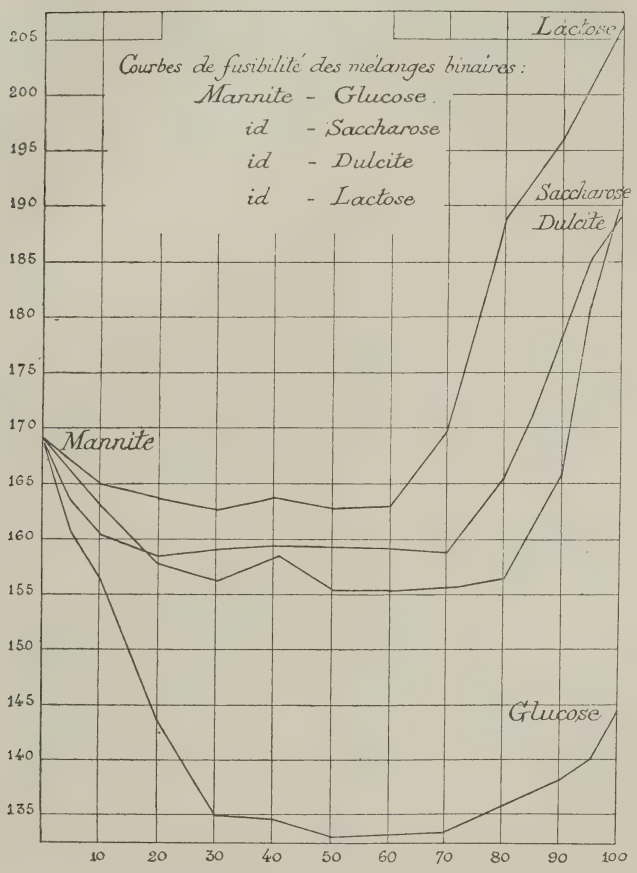
de Lombok est barré sur toute sa largeur par une ligne de *hauts fonds de 300 mètres* en général (avec un maximum de profondeur de 312 mètres), unissant les deux îles de Bali et Lombok. Et elles permettent ensuite de déterminer d'une façon sûre où se trouve la ligne de plus grande profondeur, séparant l'Australie de l'Asie;

2° Ces observations démontrent qu'il existe entre les deux parties du monde susdites, et joignant les océans Pacifique et Indien, une ligne des plus grandes profondeurs — ou thalweg sous-marin — qui, nulle part, ne descend moins bas que 1,500 mètres. Mais cette ligne ne suit, *en aucun point,* la ligne de Wallace, comme le fait voir la carte ci-jointe;

3° Il est certain, maintenant, que — comme Sakhalin, le Japon, Formose, Java et Sumatra — les Philippines, Bornéo, Célèbes et toutes les îles de la Sonde jusqu'à Timor sont reliées à l'Asie par des fonds de moins de 1,500 mètres et souvent de moins de 500 mètres (comme Célèbes et les plus occidentales des îles de la Sonde) ou de 200 mètres (Bornéo et Palawan). De même, d'autre part, les Moluques, Kei, Aru, Tenimber et la Nouvelle-Guinée sont rattachées à l'Australie par des fonds de moins de 1,500 mètres, et de moins de 500 mètres pour ces quatre dernières;

4° Et la ligne des plus grandes profondeurs passe entre Célèbes et les Moluques (plus de 2,000 mètres), puis entre Sula et Buru (plus de 4,000 mètres et non moins de 200 mètres [atlas de Berghaus]), ensuite par la mer de Banda, et enfin à l'Est de Timor pour rejoindre les grandes profondeurs de l'océan Indien.

On voit, par conséquent, qu'il y a concordance entre



GRAPHIQUE II.

la limite biologique proposée plus haut et le thalweg océanique séparant l'Australie de l'Asie.

L'archipel malais des Indes Néerlandaises appartient donc, morphologiquement comme zoologiquement, à l'Asie. Et alors que les anciens géographes le rangeaient dans l' « Océanie », c'est à juste titre que les grands atlas récents l'appellent nettement « archipel asiatique » (1).

VI.

CONCLUSIONS.

Les considérations fauniques rappelées plus haut déterminent une limite zoologique entre l'Australie et l'Asie; cette limite et la ligne des plus grandes profondeurs qui vient d'être indiquée se superposent sur toute leur longueur et avec une assez grande exactitude.

On peut trouver, dans cette concordance, la preuve que la ligne de Wallace (quel que soit l'intérêt historique qu'elle présente) doit être nécessairement abandonnée et remplacée par la limite ci-dessus.

C'est cette dernière que je propose de nommer « Ligne de Weber », en souvenir, d'une part, des longues recherches faites par ce zoologiste sur la faune des Indes Néerlandaises, — recherches qui ont puissamment contribué

---

(1) Vivien de Saint-Martin et Schrader, *Atlas universel de géographie,* feuille 56, 1897. — Stanford, *London Atlas of universal Geography*, 3d edit., 1904, pl. 70. — La planche correspondante (64) du *Stieler-Atlas* (édition de 1899) est aussi rangée dans l'Asie.

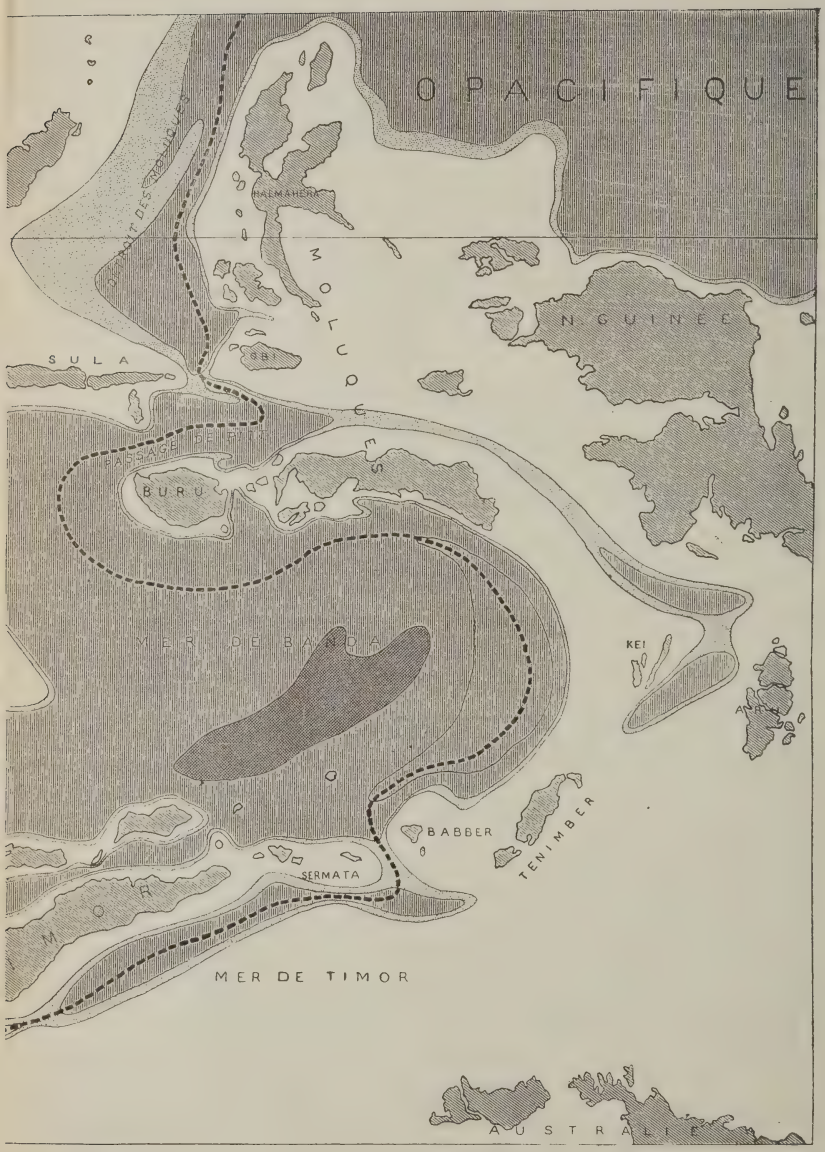
à montrer le mal fondé de la ligne de Wallace, — et, d'autre part, en souvenir des observations océanographiques de la brillante expédition du *Siboga*, dont Max Weber fut le chef.

EXPLICATION DE LA CARTE.

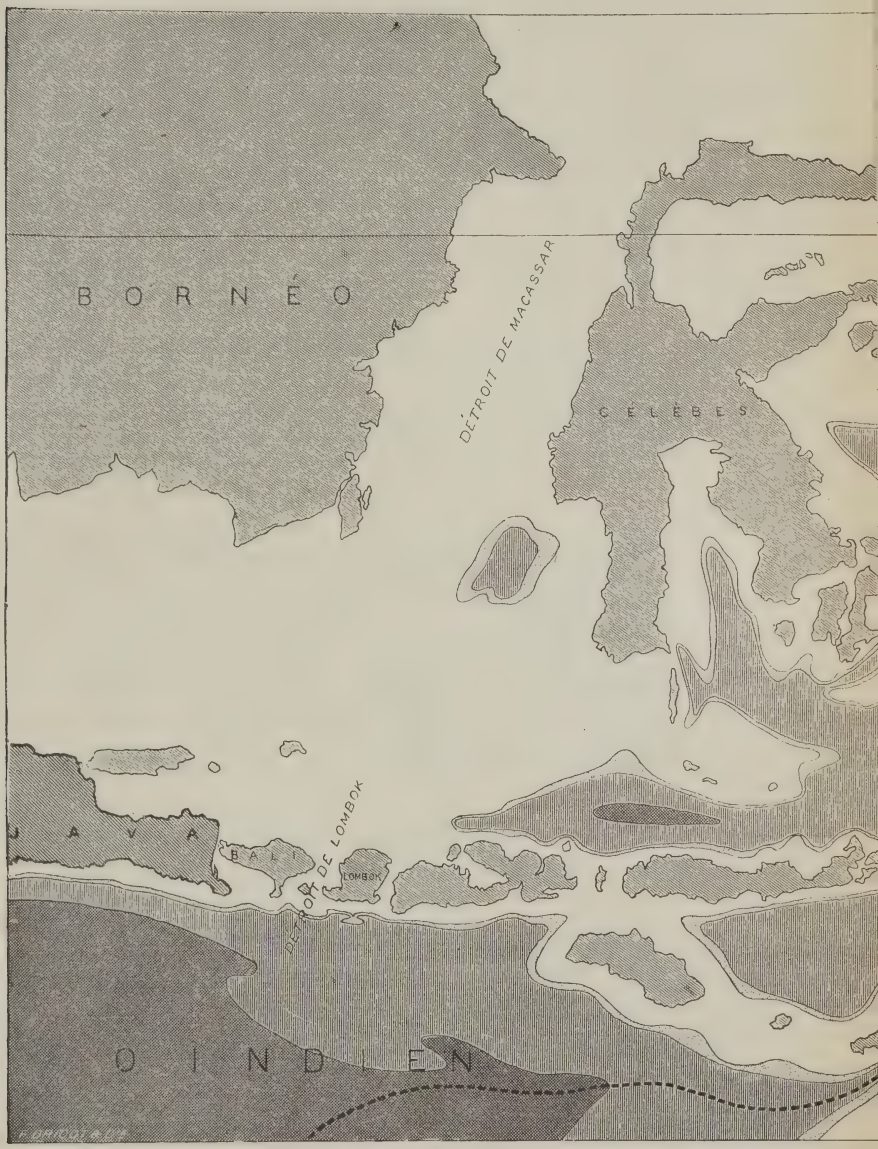
Carte de l'archipel malais, avec les isobathes de 2,000 et 5,000 mètres d'après la carte de Tydeman et l'isobathe de 1,500 mètres interpolé suivant les renseignements de cette carte.

Les profondeurs de 1,500 à 2,000 mètres sont indiquées par un grisé pointillé; celles de 2,000 à 5,000 mètres, par un grisé à hachures verticales; celles de plus de 5,000 mètres, par un grisé à hachures entrecroisées.

M. Lameere, à l'appui de la communication de M. Pelseneer, déclare que l'étude de Coléoptères de la famille des Prionides, sur lesquels il fera paraître plus tard un travail d'ensemble, l'a amené aux mêmes données quant à la limite géographique des faunes de l'Asie et de l'Australie; il fait cependant des réserves pour Timor, qui paraît plutôt se rattacher à l'Australie d'après ses Prionides; mais ce cas particulier ne peut infirmer des conclusions qui résultent de la répartition des espèces d'un certain nombre d'autres groupes.



plus de 5,000 mètres. Terres.



Profondeurs : 1,500 à 2,000 mètres; 2,000 à 5,000 mètres;

Quelques observations sur le rapport présenté par M. Swarts dans la séance du mois d'août 1904; par Maurice Delacre, correspondant de l'Académie.

I. — « L'auteur emploie généralement la distillation fractionnée » pour identifier les corps qu'il a isolés. »

Jamais je n'ai employé la distillation fractionnée pour identifier les corps que j'ai isolés. Les lecteurs de mon mémoire apprécieront que, même dans les cas du chlorure de l'alcool, ce n'est pas la distillation, mais bien les réactions qui m'ont servi de guide.

II. — « Je dois dire cependant que l'auteur nous promet de com- » pléter son mémoire en y ajoutant les données que lui ont fournies » les déterminations de densité qu'il a faites. Cette addition sera des » plus heureuses : la densité d'un corps étant l'une de ses propriétés » les plus sensibles à la présence d'impuretés, M. Delacre rendra un » réel service à ceux qui voudraient travailler la pinacoline et ses » dérivés en nous donnant les densités des produits purs qu'il a » isolés. »

La densité d'un corps est donc l'une de ses propriétés les plus sensibles à la présence d'impuretés. C'est le second commissaire qui nous l'apprend.

Pour ma part, rappelant aux chimistes compétents, entre mille exemples, les densités respectives de l'acétone (0,814) et de l'alcool isopropylique (0,816), j'abandonne à leur appréciation la thèse de notre confrère et la candeur des conseils qui l'accompagnent.

III. — « M. Delacre conclut que la pinacoline nous fournit un » exemple de plus de ces intéressants phénomènes de tautomérie... »

Cette assertion est inexacte; elle ne se trouve nulle part dans mon mémoire, et la note que j'ai présentée au mois d'août, avant de connaître les rapports des commissaires, dit nettement et formellement le contraire des idées que l'on me prête.

IV. — « M. Delacre se demande si l'existence de deux benzopi- » nacolines n'est pas une objection à cette hypothèse. J'y vois plutôt, » pour ma part, une confirmation aux considérations théoriques » qu'on a émises pour expliquer ces cas particuliers d'équilibre » chimique. »

Notre confrère cite, il est vrai, l'objection que je me suis faite à propos des benzopinacolines, mais il oublie de reproduire la réponse que j'y donne moi-même quelques lignes plus loin, en rapprochant le cas qui nous occupe de l'existence d'un maximum de dissociation. Ce rapprochement me semble cependant intéressant dans l'espèce.

Il s'autorise de cette omission pour me donner un conseil sur la manière d'interpréter mes idées; cependant, il aurait dû lire quelques lignes plus loin que mon travail est expérimental et que je désire qu'il reste tel.

Je désire qu'il reste tel, c'est pourquoi j'ai fait une simple allusion à la benzopinacoline, précisément pour répondre à l'objection se présentant naturellement à l'esprit, pour me réserver d'y revenir, et pour avoir occasion d'annoncer que j'avais repris d'une manière suivie cette étude aride, qui n'a cessé de me préoccuper depuis

que l'Académie a accueilli avec bienveillance mon premier travail sur ce sujet en 1890.

Que le second commissaire, qui n'a jamais rien publié sur cette question, dont les travaux n'ont aucune affinité avec les miens, chargé de faire rapport en quelques jours sur un travail qui a demandé des années, se croie autorisé à me suggérer des conclusions, c'est là assurément une méthode nouvelle dans les sciences expérimentales.

COMITÉ SECRET.

La Classe se constitue en comité secret pour prendre connaissance de la liste des présentations arrêtée par la Section des sciences naturelles pour une place d'associé vacante par la mort d'Et.-J. Marey, de Paris.

OUVRAGES PRÉSENTÉS.

Cesàro (*G.*). Sur l'arrangement cristallin du test calcaire de la Bélemnite, des Oursins et de la tige d'un Crinoïde fossiles du Crétacé de Glons. Liége, 1899; extr. in-8° (38 p.).

— Les milieux homogènes de M. Viola. Bruxelles, 1902; extr. in-8° (10 p.).

— Calcul du volume d'une forme cristalline quelconque. Bruxelles, 1902; extr. in-8° (33 p.).

— Généralisation des formules d'Euler. Bruxelles, 1902; extr. in-8° (8 p.).

— Un lieu de géométrie sphérique démontré par projections stéréographiques. Bruxelles, 1903; extr. in-8° (7 p.).

— Aire du triangle formé sur la sphère par trois cercles quelconques. Bruxelles, 1903; in-8° (8 p.).

— Sur la formule de la milarite du leucophane et de quelques minéraux voisins. Bruxelles, 1904; extr. in-8° (34 p.).

Cesàro (*G.*) et *Bussy* (*P.*). Exposé élémentaire des principes de saccharimétrie optique. Bruxelles, extr. in-8° (55 p.).

[*Jidey*]. Nouvelle théorie de la chaleur conduisant à l'origine de l'électricité et à la formation des germes de vie. Bruxelles, 1904; in-8° (45 p.).

Brachet (*A.*). Recherches expérimentales sur l'œuf de « Rana fusca ». Liége, 1904; extr. in-4° (58 p. et 1 pl.).

Firket (*Ad.*). Rapport sur la situation de l'industrie minérale et métallurgique dans la province de Liége en 1903. Liége, 1904; in-8° (64 p.).

Breydel (*A.*). Nature intime de l'électricité; du magnétisme et des radiations. Bruxelles, 1904; in-8° (100 p.).

Simoens (*G.*). Réponse aux critiques formulées par M. Emm. de Margerie au sujet de la « Bibliographia geologica ». Bruxelles, 1904; in-8° (VIII-103 p.).

Boëns (*J.*). L'infaillible. Paratonnerre creux homogène approuvé par l'État belge. Nouveau traité scientifique et pratique. Namur, 1904; in-8° (20 p.).

Gillot (*Henri*). Notice sur la vie et l'œuvre d'Émile Laurent. Ciney, 1904; in-8° (83 p. avec portrait).

Archives de biologie, publiées par Éd. Van Beneden et Ch. Van Bambeke, tome XX, fascicule 4, 1904.

HEIDELBERG. *Universität*. Acta Saecularia zur Erinnerung an die Zentenarfeier, 1803-1903; 1904, pet. in-4°.

— Heidelberger Professoren aus dem 19. Jahrhundert, Band I und II, 1903; 2 vol. in-8°.

BERLIN. *Centralbureau der internationalen Erdmessung*. Bestimmung der Intensität der Schwerkraft durch relative Pendelmessungen (M. Haid). 1904; in-4°.

GRAZ. *Naturwissenschaftlicher Verein*. Mitteilungen, 1904.

BRESLAU. *Gesellschaft für Vaterländische Cultur*. Die Hundertjahrfeier, 1904.

OTTAWA. *Royal Society of Canada*. Proceedings and transactions, volume IX, 1903.

— *Department of marine and fisheries*. Report of the meteorological service, 1904. In-4°.

ITALIE.

Guareschi (*Icilio*). Osservazioni ed esperienze sul ricupero e sul restauro dei codici Danneggiati dall' incendio della Biblioteca nazionale di Torino. Turin, 1904; extr. in-4° (36 p., pl.).

Acireale. *R. Accademia.* Rendiconti e Memorie, volume II, 1902-1903.

Rome. *R. Accademia dei Lincei.* Sodales R. Lynceorum Academiae annum CCC ab eius institutione concelebrantes .. 1904; in-4° (xiv-85 p.).

—

Luxembourg. *Institut grand-ducal. Section des sciences naturelles.* Publications, tome XXVII (B).

—

Hepites (*St.-C.*) .Esquisse historique des travaux astronomiques exécutés en Roumanie. Bruxelles, 1903; in-8° (25 p.).

Merino (*Rodriguez*). Nouveau montage du central téléphonique supprimant les piles chez les abonnés. Madrid, 1894; in-12 (15 p.).

Internationale Erdmessung. Publikationen : Die Arbeiten des K. und K. militär-geographischen Institutes in Wien, Band XX. 1903; in-4°.

Saint-Pétersbourg. *Observatoire central Nicolas.* Publications, vol. IX, n°s 3 et 4, 1903; in-4°.

Coire. *Naturforschende Gesellschaft.* Jahresbericht. Neue Folge, 46. Band, 1904.

Upsal. *Universitet.* Arsskrift, 1903.

Copenhague. *Zoological Museum.* The danish Ingolf-expedition, vol. II, part 4; vol. V, part 1. 1904; 2 cahiers in-4°.

— *Conseil permanent pour l'exploration de la mer.* Bulletin, 1903-1904, n° 3. — Publications de circonstance, n° 14. 1904.

ACADÉMIE ROYALE DE BELGIQUE

BULLETIN

DE LA

CLASSE DES SCIENCES

1904. — N° 11.

CLASSE DES SCIENCES.

Séance du 5 novembre 1904.

M. Léon Fredericq, directeur.

M. le chevalier Edm. Marchal, secrétaire perpétuel.

Sont présents : MM. P. De Heen, *vice-directeur;* G. Dewalque, Éd. Van Beneden, C. Malaise, F. Folie, Ch. Van Bambeke, Alfr. Gilkinet, G. Van der Mensbrugghe, L. Henry, W. Spring, M. Mourlon, P. Mansion, C. Le Paige, J.-B. Masius, J. Neuberg, A. Lancaster, Leo Errera, Julien Fraipont, P. Francotte, Paul Pelseneer, *membres;* Mce Delacre, Aug. Lameere et Th. Durand, *correspondants.*

CORRESPONDANCE.

—

La Classe prend notification de la mort de M. Bernard Renault, associé de sa Section des sciences naturelles depuis 1894, assistant au Museum d'histoire naturelle de Paris, président de la Société d'histoire naturelle d'Autun, décédé en cette ville le 14 octobre, à l'âge de 69 ans.

Les condoléances de l'Académie seront adressées à la famille du défunt.

— Le Cercle mathématique de Palerme envoie le programme du concours pour le prix Guccia, d'une valeur de 3,000 francs, à décerner en 1908, à un mémoire « qui fera faire un progrès essentiel à la théorie des courbes gauches algébriques ».

Dans le cas où, parmi les travaux envoyés, aucun mémoire ne satisferait à cette question, le prix pourra être adjugé au mémoire « qui fera faire un progrès essentiel à la théorie des surfaces ou autres variétés algébriques ».

— Hommages d'ouvrages :

1° *Détermination de la latitude de l'Observatoire royal de Belgique, à Uccle, et recherches des variations apparentes de la latitude à l'aide de l'observation d'étoiles fondamentales au cercle mural de Troughton;* par E. Bijl (présenté par M. Folie, avec une note qui figure ci-après);

2° *La structure de l'œuf des Mammifères;* par O. Van der Stricht;

3° *Recherches sur l'oogenèse et sur la structure et la signification du noyau vitellin de Balbiani chez les Oiseaux;* par F. D'Hollander.

— Remerciements.

NOTE BIBLIOGRAPHIQUE.

J'ai l'honneur d'offrir à l'Académie, de la part de M. E. Bijl, astronome adjoint à l'Observatoire royal, un travail publié dans les *Annales* de l'Observatoire sous le titre : *Détermination de la latitude de l'Observatoire royal de Belgique et recherches des variations apparentes de la latitude.*

Ce travail laborieux, fruit d'une longue série d'observations très précises à l'ancien cercle mural de Troughton, que j'avais fait réparer, réduites et corrigées avec les soins les plus scrupuleux, fournira de beaucoup la meilleure base, à ma connaissance, pour l'élucidation de la grande question qui reste depuis quinze ans à l'ordre du jour, celle de la variation des latitudes.

Pendant ma direction, j'avais vivement engagé M. Bijl à entreprendre cette recherche, comme il le dit dans son Introduction. Nous en avons longuement discuté les bases et la méthode.

Quoique les observations ne s'étendent peut-être pas sur un temps suffisamment long, elles conduiront, j'en suis sûr, au résultat que j'affirme depuis bien des années, à savoir l'existence non pas d'*une seule*, mais de *deux* nutations initiales, malgré les tentatives que MM. Newcomb et Darwin ont faites d'expliquer, chacun à sa façon,

comment la période de la nutation eulérienne, qui est de 305 jours pour une Terre solide, a pu se transformer en la période chandlérienne de 430 jours.

Le calcul ultérieur des observations montrera à l'évidence que les deux nutations existent simultanément, avec des périodes probablement un peu différentes de celles que l'on admet, quant à la nutation eulérienne surtout.

La discussion des réductions effectuées par M. Bijl l'a conduit, jusqu'à présent, à ce résultat que le catalogue de Newcomb est notablement supérieur à celui du B. J., très généralement adopté par la plupart des astronomes de l'ancien monde.

Les positions moyennes déduites par M. Bijl de ses propres observations lui ont donné des résultats supérieurs encore en précision à ceux qu'il a obtenus au moyen du catalogue de Newcomb.

On pourra juger de la précision merveilleuse des observations et des réductions de M. Bijl par le résumé ci-dessous du dernier tableau (D, pp. 173-299) que je l'ai engagé à dresser afin d'éliminer la variation annuelle, et l'on ne voudrait pas croire à une telle précision si toutes les observations et réductions individuelles n'étaient soigneusement consignées dans les pages précédentes.

Je suis heureux et fier d'avoir inspiré ce travail, qui constitue, à mes yeux, la contribution la plus importante qu'on ait jamais apportée à l'étude de la variation des latitudes.

Comme la théorie m'indique l'existence d'une troisième variation provenant des constantes arbitraires, et dont la période ne peut être déduite que d'observations s'étendant sur un intervalle de temps assez long, j'engage très

vivement M. Bijl à reprendre, pendant un an et demi encore, la même série d'observations, et je ne doute pas que M. le Directeur du service astronomique ne l'encourage à se consacrer à cette œuvre et à donner à son travail le complément que je crois indispensable pour la complète résolution du problème si imparfaitement abordé en théorie par les astronomes, et dont l'Observatoire royal donnera, je l'espère, la première solution véritablement approchée.

Quant à la constance de la hauteur du pôle géographique, affirmée par moi depuis plus de douze ans, M. Bijl a eu la curiosité de comparer la hauteur du pôle déterminée à Bruxelles par A. Quetelet, en 1836, à celle que lui-même y a déduite, en 1883, des passages supérieurs et inférieurs de la polaire.

53 déterminations faites par A. Quetelet, en 1836, ont donné 50°51′10″59.

35 déterminations faites par M. E. Bijl, en 1883, ont donné 50°51′10″56.

En quarante-sept ans donc, on peut dire que la latitude *géographique* de Bruxelles n'a absolument pas varié.

Numéros.	Date.	Variations.
—	—	—
1 à 2	1898,493	– 0″04
3 à 8	502	05
9 à 13	513	03
14 à 20	523	02
21 à 22	1898,528	– 0″03

Numéros.	Date.	Variations.
—	—	—
23 à 24	1898,530	- 0″04
25	530	05
26 à 29	532	06
30 à 33	534	07
34 à 44	540	08
45 à 51	546	10
52 à 68	553	12
69 à 72	558	13
73 à 77	561	15
78 à 85	571	16
86 à 91	577	15
92 à 95	580	16
96 à 105	585	17
106 à 108	594	16
109 à 112	602	17
113 à 119	608	16
120 à 128	620	15
129 à 138	632	16
139 à 141	642	15
142 à 145	648	14
146 à 147	652	13
148 à 154	655	12
155 à 157	665	11
158 à 161	673	10
162 à 164	679	11
165	683	10
166 à 170	689	09
171 à 175	1898,698	- 0″08

Numéros.	Date.	Variations.
—	—	—
176 à 182	1898,712	- 0″07
183 à 184	724	05
185 à 188	738	03
189	748	02
190	749	- 0″01
191	751	00
192 à 202	764	+ 0″01
203 à 210	779	00
211 à 221	801	01
222 à 224	814	03
225 à 226	819	04
227 à 228	825	05
229 à 230	830	06
231 à 236	839	07
237 à 239	848	06
240 à 241	854	05
242 à 244	857	06
245 à 249	864	04
250 à 252	876	05
253 à 254	883	06
255 à 257	886	07
258 à 261	890	09
262 à 263	894	10
264 à 265	897	11
266 à 267	901	12
268 à 270	909	13
271 à 273	914	14
274 à 276	1898,918	+ 0″15

Numéros.	Date.	Variations.
—	—	—
277 à 279	1898,922	+ 0″17
280 à 281	925	18
282	928	20
283	932	21
284 à 286	936	24
287 à 297	949	25
298 à 300	966	24
301 à 302	969	22
303 à 308	977	21
309 à 310	986	22
311 à 321	997	24
322 à 324	1899,008	25
325 à 331	013	24
332 à 335	021	25
336 à 345	029	26
346 à 350	035	25
351 à 356	037	24
357 à 360	039	25
361 à 365	040	24
366 à 371	041	25
372 à 377	046	24
378 à 392	052	22
393 à 402	057	21
403 à 409	059	20
410 à 412	069	19
413 à 430	071	18
431 à 433	076	17
434 à 435	1899,078	+ 0″16

Numéros.	Date.	Variations.
436 à 437	1899,080	+ 0″15
438 à 441	081	14
442 à 455	085	13
456 à 458	095	14
459 à 464	101	13
465 à 466	107	14
467 à 475	120	15
476 à 478	135	14
479	140	13
480	144	12
481 à 498	164	11
499 à 500	186	12
501 à 510	197	11
511 à 512	207	10
513 à 515	212	09
516 à 518	216	08
519 à 520	223	07
521 à 531	241	06
532 à 535	257	05
536 à 537	261	04
538 à 542	265	03
543 à 550	272	02
551 à 570	297	01
571 à 573	314	00
574 à 576	319	01
577	324	02
578 à 580	329	03
581	1899,333	+ 0″04

Numéros.	Date.	Variations.
—	—	—
582 à 588	1899,338	+ 0″05
589 à 593	347	06
594 à 596	354	07
597 à 602	360	06
603 à 608	370	05
609 à 611	382	04
612 à 625	401	03
626 à 628	420	02
629	422	– 0″01
630	425	00
631 à 634	430	+ 0″01
635	435	02
636 à 641	440	03
642 à 649	449	04
650 à 655	460	05
656 à 666	473	04
667 à 668	485	05
669 à 670	487	06
671 à 673	491	07
674 à 677	497	08
678 à 679	502	09
680 à 685	1899,512	+ 0″10

F. Folie.

RAPPORTS.

Note concernant l'action de l'acide formique sur le système musculaire; par le Dr E. Clément, médecin honoraire des hôpitaux de Lyon.

Rapport de M. Masius, premier commissaire.

« Le Dr Clément, se basant sur les sensations subjectives éprouvées par les personnes qui prennent de l'acide formique, ainsi que sur les résultats fournis par le dynamomètre et l'ergographe avant et après l'administration de cette substance, admet que l'acide formique accroît considérablement la force des muscles et leur résistance à la fatigue. Il ferait aussi disparaître très vite la fatigue, puisqu'il suffirait d'une période de repos beaucoup plus courte qu'avant son emploi pour que les muscles fatigués retrouvent leur énergie.

L'auteur croit pouvoir admettre que l'usage journalier d'une petite quantité d'acide formique ajoutée à la ration alimentaire normale permettrait à l'ouvrier de travailler sans fatigue et de substituer à l'alcool un produit tout à fait inoffensif et d'une activité infiniment plus grande.

Tel est, en résumé, le contenu intéressant du manuscrit adressé à la Classe par le Dr Clément. C'est une confirmation des résultats des recherches antérieures sur l'action de l'acide formique qui ont été communiquées par l'auteur à la Société nationale de médecine de Lyon, ainsi qu'à l'Académie des sciences de Paris.

Dans la lettre qui accompagne l'envoi de sa note à notre Classe, l'auteur demande qu'elle soit soumise au contrôle de l'Académie des sciences et que, après vérification de ses expériences sur l'action de l'acide formique, elle

emploie sa grande autorité scientifique à favoriser la vulgarisation de cet agent.

Considérant que le mémoire a été publié, au moins dans ses parties essentielles et qu'il n'est pas possible d'accéder à la demande formulée par l'auteur, j'ai l'honneur de proposer à la Classe de déposer honorablement dans les archives le manuscrit et de voter des remerciements à M. E. Clément. »

M. Fredericq, second commissaire, déclare se rallier aux conclusions du premier rapporteur. Celles-ci sont adoptées par la Classe.

—

Recherches sur la déshydratation de l'isodypnopinacoline α; par M. E. Terlinck, docteur en sciences.

Rapport de M. Delacre, premier commissaire.

« Le mémoire se divise en trois parties :

Première partie. — Recherches sur la préparation de l'isodypnopinacoline α; l'auteur substitue l'acétophénone à la dypnone et la potasse aqueuse à la potasse alcoolique; c'est un très grand progrès dans la technique des dérivés de la dypnopinacone. Signalons aussi la transformation mise en lumière par l'auteur de l'isodypnopinacoline α en homodypnopinacoline; c'est un nouvel exemple de la réversibilité de simples isomérisations, phénomène qui est appelé à prendre de plus en plus d'importance pour discuter la constitution des composés organiques.

On sait qu'un même réactif peut, suivant le degré de concentration, agir comme déshydratant et comme hydra-

tant. M. Terlinck a opéré l'hydratation de l'homodypnopinacoline en homodypnopinacone. C'est le premier exemple de l'hydratation d'une pinacoline; n'oublions pas cependant que le terme de pinacone est ici exclusivement empirique.

Deuxième partie. — Pour déshydrater l'isodypnopinacoline α et obtenir les isodypnopinacolènes, l'auteur propose l'emploi d'acide acéto-sulfurique, qui a sur l'acide acéto-chlorhydrique de grands avantages. Ce progrès de technique lui a permis de fixer les conditions les meilleures pour obtenir soit l'isodypnopinacolène α, soit l'isodypnopinacolène β. Il conclut de ses expériences que ces deux isomères ne dérivent pas l'un de l'autre.

Troisième partie. — Elle comporte l'étude de plusieurs réactions de l'isodypnopinacolène α. Je ne les mentionnerai pas toutes. L'hydrogénation par l'amalgame n'a donné aucun résultat; par contre, la bromuration a fourni un polybromure curieux $C^{32}H^{14}Br^{10}$ et deux monobromures $C^{32}H^{23}Br$. C'est sur ces deux derniers composés que se concentre l'intérêt de cette dernière partie, et l'auteur nous promet d'en poursuivre l'étude. J'espère que la réalisation de cette promesse le conduira à relier le groupe de l'isodypnopinacoline à une autre branche de la famille de l'isodypnopinacone; certains faits qu'il a constatés dans ces derniers temps ouvrent des horizons de ce côté.

M. Terlinck a commencé sa thèse de doctorat dans le laboratoire que je dirige à l'Université de Gand, mais la plus grande partie en a été faite dans un laboratoire qu'il s'est créé, pour y poursuivre des recherches de science pure, là où le retiennent ses occupations. Ces circon-

stances permettent de fonder sur l'avenir scientifique de l'auteur les plus légitimes espérances.

J'ai l'honneur de proposer à la Classe l'impression du mémoire de M. Terlinck dans les *Bulletins*. »

—

Rapport de M. Henry, second commissaire.

« Il n'y a rien à ajouter à l'analyse si complète, faite par M. Delacre, du mémoire de l'auteur. Cette circonstance que les recherches qui y sont relatées ont été faites en partie dans un laboratoire privé ajoute encore à l'intérêt intrinsèque qu'elles présentent et permettent d'en espérer avec confiance la continuation. Je vois là un fait dont il y a peu d'exemples dans nos habitudes scientifiques, du moins au point de vue des études expérimentales de chimie pure; à ce titre, il mérite d'être relevé, et j'en fais honneur à l'auteur.

Je propose aussi l'insertion du mémoire de M. Terlinck dans le *Bulletin*. »

La Classe adopte cette proposition.

—

Sur l'isopropanol trichloré 1.1.1

$Cl_3C - CH(OH) - CH_3$;

par Éd. Vitoria, S. J., docteur en sciences.

Rapport de M. Louis Henry, premier commissaire.

« Les dérivés chlorés des alcools constituent un groupe de corps intéressants à étudier à divers titres : ils permettent notamment de déterminer l'influence réciproque exercée par les radicaux - OH et Cl sur leurs aptitudes réactionnelles respectives.

La série des alcools chlorés en C_2 est complète, grâce à l'alcool bi-chloré $Cl_2HC - CH_2(OH)$ mis au jour autrefois par notre savant confrère M. Delacre (*). On est moins bien partagé en ce qui concerne les dérivés en C_3 et spécialement ceux de l'alcool isopropylique $H_3C - CH(OH) - CH_3$, l'alcool secondaire *par excellence*. On n'en connaît, en effet, aujourd'hui que le *dérivé mono-chloré* $ClCH_2 - CH(OH) - CH_3$, ou la mono-chlorhydrine propylénique secondaire.

Un de mes élèves, le Père Éd. Vitoria, s'est proposé de combler cette lacune, et dans le travail qu'il a l'honneur de présenter aujourd'hui à l'Académie, il s'occupe de l'*isopropanol trichloré* $CCl_3 - CH(OH) - CH_3$ et de ses dérivés.

Ce corps n'est pas absolument nouveau dans la science : il a été préparé autrefois par M. Gazzarolli-Thurnlackh (**) en faisant réagir le zinc-méthyle sur le chloral anhydre. L'intervention du zinc-méthyle dans cette opération suffit déjà pour faire présager que la préparation de ce corps est entourée de graves difficultés et qu'il est fort peu connu. En fait, il en est ainsi, son point d'ébullition n'est pas même indiqué d'une manière précise, l'auteur n'ayant eu à sa disposition qu'une quantité de matière insuffisante pour une détermination de ce genre.

Ces difficultés sont écartées aujourd'hui que, dans la chimie synthétique, les composés organo-magnésiens remplacent, avec tant d'avantages, les composés organo-zinciques.

Le Père Vitoria obtient l'isopropanol trichloré 1.1.1 aisément et avec un rendement relativement excellent

---

(*) *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique,* t. XIII (3), p. 235 (année 1887).
(**) *Liebig's Annalen der Chemie,* t. CCX, p. 77 (année 1881).

par la réaction des composés magnésiens du bromure et de l'iodure de méthyle dans l'éther, sur le chloral anhydre également dans l'éther.

L'*isopropanol trichloré* constitue un corps solide, susceptible de fournir de grands et beaux cristaux, fusible à 50° et bouillant à 160°-161°, sous la pression ordinaire.

M. Vitoria en a fait l'étude, autant qu'il lui a été possible de la faire, dans le courant de l'été dernier. Il en décrit l'acétate et le nitrate, mais il ne lui a pas été possible d'en préparer les éthers chlorhydrique ni bromhydrique. L'intensité du caractère alcool, déjà très faible dans l'alcool isopropylique lui-même, $H_3C - CH(OH) - CH_3$, est, dans son dérivé trichloré, singulièrement déprimée par le voisinage immédiat du composant $- CCl_3$. Il en est de même de son oxydabilité : il faut l'acide nitrique fumant et à chaud pour l'attaquer, et dans ces conditions, il se forme de l'acide tri-chloro-acétique.

La réaction déshydratante que subit l'isopropanol trichloré de la part de l'anhydride phosphorique est des plus nettes et des plus intéressantes : il se forme du *propylène trichloré* $CCl_3 - CH = CH_2$, liquide bouillant à 110°, doué d'un pouvoir additionnel intense, et qui, en s'annexant une molécule de chlore, fournit le *propane pentachloré* $CCl_3 - CHCl - CH_2Cl$, un beau corps cristallin fusible à 180°.

L'auteur s'est encore proposé de faire divers dérivés éthérés de l'isopropanol trichloré, de la formule $CCl_3 - CH\ (OC_nH_{2n+1}) - C\ H_3$. Ne pouvant espérer les obtenir à l'aide de son alcool lui-même, il s'est adressé dans ce but à une réaction synthétique du genre de celle qui lui avait fourni cet alcool.

Sur les éthers tétrachlorés de la formule $CCl_3 - CH$

$< \begin{matrix} Cl \\ OC_nH_{2n+1} \end{matrix}$, produits de l'action de PCl_5 sur les alcoolates du chloral $CCl_3 - CH < \begin{matrix} OH \\ OC_nH_{2n+1} \end{matrix}$, il a fait réagir la solution éthérée de l'iodo-méthylure de magnésium $I - Mg - CH_3$. En fait, le composant $- CH < \begin{matrix} Cl \\ OC_nH_{2n+1} \end{matrix}$ est seul atteint, Cl étant remplacé par $- CH_3$, mais les produits obtenus, après distillation et purification, ne se sont pas trouvés être les dérivés oxy-alkylés de l'isopropanol trichloré $CCl_3 - CH (OC_nH_{2n+1}) - CH_3$, comme il fallait s'y attendre ; à la suite de l'élimination d'une molécule de gaz acide chlorhydrique, ils se sont transformés en dérivés oxy-alkylés du *propylène bi-chloré*, de la formule $Cl_2C = C (OC_nH_{2n+1}) - CH_3$. Ont été ainsi obtenus les dérivés méthylique, éthylique et propylique primaire. Pour n'avoir pas abouti à la formation des composés prévus et cherchés, la réaction n'en est pas moins intéressante.

Au moment où le Père Vitoria s'occupait dans mon laboratoire de l'isopropanol trichloré, ce corps était fabriqué industriellement, par le même procédé, dans le grand établissement de Bayer et Cie, à Elberfeld, placé aujourd'hui, au point de vue scientifique, sous la direction savante et habile du Dr Duisberg. Si cette circonstance avait été connue plus tôt de l'auteur, il n'aurait pas eu à préparer lui-même son alcool et il aurait ainsi disposé de plus de temps et de matière pour en faire l'étude scientifique. Aujourd'hui l'isopropanol trichloré, dont la fabrication à l'établissement d'Elberfeld est protégée par un brevet, a pris place dans le catalogue des produits médicinaux sous le nom d'*isopral*. Il constitue, d'après les expériences de divers médecins physiologistes, un narcotique d'une grande puissance.

Je dirai, en terminant, que le mémoire du Père Vitoria constitue une contribution d'un haut intérêt et d'une incontestable valeur à l'étude des composés *chloro-hydroxylés* - C(OH) - CCl de nature alcoolique. J'ai l'honneur d'en proposer l'insertion au *Bulletin*. »

M. Spring déclarant se rallier aux conclusions de son éminent confrère, celles-ci sont adoptées par la Classe.

COMMUNICATIONS ET LECTURES.

A propos du gisement de Mammouth de Meerdegat (Alken), près de Hasselt; par Michel Mourlon, membre de l'Académie.

Il n'est peut-être pas inutile, à propos de la découverte récente d'ossements de Mammouth au hameau de Meerdegat (Alken), au sud de Hasselt, de dire quelques mots sur les principaux gisements de ce fossile géant, que j'ai eu l'occasion d'étudier sur place en des points variant en élévation, au-dessus du niveau de la mer, de quelques mètres, comme c'est le cas pour ceux de la vallée de la Senne, aux travaux des installations maritimes de Bruxelles, jusqu'à 37 mètres près d'Alken, 75 mètres à Ixelles et 233 mètres dans la tranchée de Sovet en Condroz.

Je ferai remarquer tout d'abord qu'en annonçant la découverte, dans une sablière d'Alken, d'un énorme tibia de Mammouth, certains journaux en ont attribué, erronément, le gisement à la couche supérieure du terrain tertiaire, et je rappellerai que bien que le niveau strati-

graphique normal du gigantesque proboscidien soit le gravier caillouteux du Quaternaire inférieur campinien qui, d'après les données récentes, ne s'élève guère au delà de 40 à 45 mètres au-dessus du niveau de la mer actuelle, sa présence, comme on vient de le voir, a été constatée en des points beaucoup plus élevés. Cette constatation tend à montrer que les Éléphants fossiles qui se trouvent dans ces dernières conditions, ou bien appartiennent à une autre espèce plus ancienne que l'*Elephas primigenius* ou Mammouth, comme cela paraît bien être le cas pour celui du gisement d'Ixelles, à la cote 75, ou bien se trouvent dans une situation telle que l'on peut admettre qu'ils se sont égarés dans certaines régions comme celle des hauts plateaux du Condroz, sur un gravier caillouteux plus ancien, probablement même d'âge tertiaire, déposé longtemps avant l'apparition du Mammouth.

Dans le cas spécial de la tranchée de Sovet, on pourrait supposer que les mâchelières de Mammouth dont j'ai signalé la présence en ce point, appartenaient à un animal, reconnu très adulte, et qui aurait été enfoui dans une des nombreuses anfractuosités de la roche primaire sous-jacente de dolomie carbonifère.

J'ajouterai enfin que le magnifique spécimen de Mammouth provénant des environs de Lierre et qui figure si majestueusement au Musée de Bruxelles pourrait bien avoir un sérieux concurrent dans le squelette de Meerdegat (Alken), dont on a déjà extrait, en parfait état de conservation, outre le tibia signalé par M. l'abbé Silveryser, de Hasselt, des fragments de défense et de dents, un humérus, un os iliaque, un fémur, une côte et d'autres ossements retirés au moment où, à l'aide de déblais pratiqués en ma présence, je notais les conditions

de leur gisement. Ce dernier, situé à 3 mètres seulement sous le sol arable, est constitué par une couche de gravier caillouteux pétri de coquilles d'origine tertiaire oligocène, reposant sur une argile verdâtre avec marne jaunâtre rapportée au Rupelien inférieur et séparée des sables de la mer flandrienne (2 mètres) par un autre dépôt, peu épais, de sable quartzeux grisâtre renseigné sur la Carte géologique au 40 000e comme représentant le facies sableux du Quaternaire hesbayen, mais qui, renfermant des ossements et de petites lentilles graveleuses, caillouteuses, coquillières et parfois aussi un peu tourbeuses, semble plutôt devoir rentrer dans le Campinien. Il est à remarquer, du reste, que la limite entre ce dernier dépôt quaternaire et celui du Flandrien n'est guère accusée dans la sablière de Meerdegat que par quelques éclats de silex.

Note insérée pendant l'impression. — M'étant rendu de nouveau à la sablière de Meerdegat, ouverte à l'extrémité occidentale du verger de la ferme Carlens, le mardi 22 novembre, en compagnie de notre savant confrère M. J. Fraipont, ainsi que de MM. De Pauw, Destinez, Ch. Lejeune de Schiervel et Vreven, de Hasselt, nous avons pu constater que s'il fallait conserver peu d'espoir d'obtenir un Mammouth entier, on se trouvait, en revanche, en présence d'un ossuaire dans lequel la compétence spéciale des paléontologistes de notre petite expédition a permis de reconnaître, séance tenante, la présence non seulement du Mammouth, mais aussi des espèces suivantes :

Rhinoceros, représenté par des fragments de la tête et des dents, un atlas, une vertèbre cervicale et une dorsale, deux os iliaques gauches dont l'un avec son cetabulum,

un fémur, un tibia, un radius, deux os du carpe, un métacarpien et une côte.

Equus caballus, avec une omoplate, un humérus et deux astragales.

Bos, avec un humérus, un radius, un métatarsien et deux calcanéums.

Enfin, un assez grand nombre d'ossements indéterminables à première vue et une dent de petit rongeur.

—

Recherches sur la déshydratation de l'isodypnopinacoline α (première communication); par Égide Terlinck, docteur en sciences.

Parmi les produits en $C^{32}H^{26}O$, dérivés de la dypnone, l'isodypnopinacoline α occupe une place à part. Tous les efforts mis en œuvre pour passer de ce corps à la triphénylbenzine sont restés vains à ce point de vue, mais ont conduit, en revanche, à la découverte d'une série déjà longue de dérivés nouveaux, dont l'étude n'est encore qu'ébauchée. Je me suis proposé de compléter nos connaissances sur la déshydratation de cette pinacoline, d'en étudier le mécanisme et d'en examiner les produits, les deux isodypnopinacolènes. Je voulais, avant tout, rechercher si le produit principal de la réaction, l'isodypnopinacolène α, n'allait pas, par quelque transformation directe, engendrer la triphénylbenzine qui a la même composition centésimale que lui.

Cette étude, qui m'occupe depuis plus de deux ans, est encore loin d'être terminée, car j'ai été amené, avant de l'aborder, à compléter les données existantes sur la préparation de l'isodypnopinacoline α et des isodypnopinacolènes. Ce travail, en quelque sorte préparatoire, a

pris des proportions d'abord inattendues, et a conduit à des résultats dont l'importance théorique et pratique est considérable, eu égard au but que je poursuis. Je les exposerai dans deux chapitres particuliers, pour relater ensuite mes recherches encore très incomplètes sur l'isodypnopinacolène α.

CHAPITRE PREMIER.

De la préparation et de la purification de l'isodypnopinacoline α.

§ 1. — Essais en partant de la dypnone.

Pendant fort longtemps, j'ai préparé l'isodypnopinacoline α par la méthode de M. Gesché : action de la potasse alcoolique solidifiable sur la dypnone (*) et transformation de l'homodypnopinacoline éventuellement formée en isodypnopinacoline, par ébullition avec la potasse alcoolique à 3 % (**). Mais malgré tous les soins que j'y mettais, ces préparations conduisaient généralement à des rendements faibles. Ils n'ont que très rarement atteint 60 % de la théorie. J'ai observé d'une manière constante la production d'un troisième produit, d'une résine incristallisable, et ce parfois en des proportions fort notables. Sans avoir reconnu avec certitude toutes les causes de la production de cette résine, j'ai observé qu'elle se formait plus abondamment quand les produits employés étaient encore un peu

(*) *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique* (Classe des sciences), 1900, p. 302.

(**) *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique* (Classe des sciences), 1903, p. 146.

chauds, ou quand la potasse alcoolique mise en œuvre n'était pas de préparation récente.

Liquéfiée au bain-marie et traitée de nouveau par la potasse alcoolique solidifiable, cette résine ne donne pas de produit cristallisé. Chauffée à 150°, elle dégage fortement l'odeur de l'aldéhyde benzoïque. Traitée à chaud ou même à froid par les acides acéto-chlorhydrique ou acéto-sulfurique, elle prend une coloration vert foncé, en donnant des liqueurs très épaisses. Lorsqu'elle accompagne, à l'état de traces, des corps tels que l'isodypnopinacoline, que l'on traite à chaud par l'acide acéto-chlorhydrique, les liqueurs prennent une belle teinte vert émeraude. L'isodypnopinacoline doit être recristallisée un grand nombre de fois avant de ne plus donner lieu à cette coloration caractéristique.

Mais j'ai reconnu plus tard que la méthode de M. Gesché était susceptible de simplifications et de perfectionnements d'assez grande importance. J'ai, pendant plusieurs mois, préparé de l'isodypnopinacoline par le procédé suivant : On se procure une solution très concentrée de potasse caustique en faisant digérer au bain-marie, pendant deux heures au moins, de l'eau distillée avec de la potasse caustique en bâtons. Après ce laps de temps, on peut décanter une solution alcaline qui se solidifie dès qu'on la déverse dans le récipient où l'on veut la peser. On la chauffe un instant au bain-marie pour la liquéfier, puis on y ajoute son poids de dypnone. On agite vigoureusement pendant quelques minutes, au bout desquelles toute la masse réactionnelle se fige pour devenir très dure après quelques heures de repos. Le lendemain, on la liquéfie au bain-marie, on la lave à diverses reprises à l'eau chaude et on la transvase

dans un grand ballon, où on la dissout dans l'alcool alcalinisé à 3 % et bouillant. On maintient l'ébullition pendant trois heures, afin de convertir en produit iso l'homodypnopinacoline éventuellement formée, puis on abandonne cette solution à la cristallisation. Au bout d'un à deux jours, on filtre à la trompe, on essore fortement les cristaux, on les lave avec de l'acide chlorhydrique étendu et on les fait recristalliser dans l'acide acétique ou, mieux encore, dans l'alcool acidulé. On répète cette cristallisation deux fois encore, et la pinacoline ainsi obtenue peut être considérée comme pure. Traités dans ces conditions, 50 grammes de dypnone bien rectifiée m'ont donné $41^{gr}5$ d'isodypnopinacoline; la même quantité de la même dypnone, sous l'action de la potasse alcoolique fraîche, ne m'a donné que $28^{gr}5$ de produit.

Si on arrête la réaction au bout d'une demi-heure, on peut, en appliquant le *modus faciendi* indiqué par M. Gesché (*), isoler un peu de dypnopinacone, mais les rendements ne sont pas meilleurs que par la potasse alcoolique. On peut aussi, en élevant la température à 150° et en chauffant pendant huit heures au bain d'huile, obtenir l'hydrocarbure de scission $C^{25}H^{22}$ avec de bons rendements. Mais l'emploi de potasse aqueuse peut lui-même être simplifié, et on peut obtenir l'isodypnopinacoline (ou, si on le veut, l'hydrocarbure $C^{25}H^{22}$), en employant un mélange intime de 1 partie de dypnone avec 4 parties de potasse caustique en poudre. Cependant, je n'insisterai pas sur ces méthodes, car il m'a été

(*) *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique* (Classe des sciences), 1900, pp. 307-308.

donné plus tard d'élaborer d'autres procédés de préparation de l'isodypnopinacoline, de l'homodypnopinacoline et de l'hydrocarbure $C^{25}H^{22}$, en partant, non plus de la dypnone, mais de l'acétophénone elle-même.

§ 2. — Essais en partant de l'acétophénone.

A. — *Préparation du carbure* $C^{25}H^{22}$.

Dans un mortier, on mélange intimement 100 grammes d'acétophénone avec 400 grammes de potasse caustique en poudre cristalline. On introduit le mélange dans un ballon ou un matras et l'on chauffe pendant dix heures au bain d'huile, à une température quelconque, entre 110 et 160 degrés. On retire alors la masse du ballon et on l'épuise à plusieurs reprises par de l'eau chaude. On met à part ces eaux de lavage et l'on désagrège finalement le produit réactionnel au moyen d'un mélange très chaud de 100 parties d'eau et de 30 parties d'acide sulfurique. Il vient alors surnager une résine qui se solidifie plus ou moins par refroidissement. On la fait bouillir avec de l'acide acétique jusqu'à dissolution; à la solution ainsi obtenue, on ajoute d'abord son volume d'alcool méthylique, puis on filtre. Il se forme par refroidissement un dépôt très abondant de cristaux fort légers que l'on essore, et fait recristalliser deux ou trois fois encore dans l'alcool méthylique. On obtient ainsi finalement de 60 à 65 grammes de belles paillettes brillantes, blanches, très légères, qui verdissent quand on les abandonne à la lumière, surtout en présence de leur liqueur mère. Elles fondent à 99° C. (corr.). Leur combustion et leur cryo-

scopie prouvent que j'ai bien affaire à de l'hydrocarbure $C^{25}H^{22}$.

Série A.

Combustions :	I.	II.	Calc. pour
Prise d'essai.	0,4139	0,2318	$C^{25}H^{22}$
Eau . . .	0,0260	0,0148	
CO^2 . . .	1,4128	0,7904	
H % . . .	6.99	7.13	6.83
C % . . .	93.09	92.99	93 17

Cryoscopie. Benzine : 18gr3920 Congélation : 2°342

Prises d'essai :	0,1929	Abaissement M = 289
	0,3920	293
	0,5419	270
	0,6514	308
Calculé pour $C^{25}H^{22}$		M = 322

Les eaux de lavage alcalines sont acidifiées au moyen de l'acide sulfurique dilué, puis extraites par l'éther. L'évaporation de la solution éthérée laisse un résidu faiblement coloré, qu'on recristallise deux fois dans l'eau bouillante. On obtient ainsi de jolis cristaux nacrés, fondant à 123° : c'est de l'acide benzoïque.

Si, au lieu de chauffer le mélange de potasse et d'acétophénone à 110° et au-dessus, on l'abandonne au bain-marie ou qu'on le place dans un bain d'huile à 60°, on obtient encore de l'hydrocarbure $C^{25}H^{22}$, mais les rendements deviennent moins bons à cause de la production de résines. Finalement, on peut encore, si l'on chauffe à 150° au moins, remplacer, sans inconvénient, la potasse par la soude, qui est moins coûteuse.

B. — *Préparation de l'isodypnopinacoline α.*

Dans une marmite d'assez grandes dimensions, munie d'un couvercle, on fait un mélange homogène de 200 grammes d'acétophénone avec 600 grammes de soude caustique finement pulvérisée. On place cette marmite couverte dans un bain d'huile maintenu entre 50 et 60 degrés. Pendant les premières heures, on remue de temps en temps le mélange au moyen d'une cuiller en porcelaine ou en fer. Au bout de vingt-quatre heures, la réaction est terminée. Le mélange est alors devenu très dur. On l'extrait de la marmite au moyen d'un fort couteau en fer et on le place au fond d'un grand pot en grès, où on l'attaque directement au moyen d'acide sulfurique chaud à 30 %, ajouté peu à peu pendant qu'on brasse constamment la masse. De cette manière, elle se désagrège peu à peu, et il vient surnager une résine jaune brunâtre qui se solidifie par refroidissement. On la lave encore un peu à l'eau, puis on la dissout à l'ébullition dans 500 à 600 grammes d'acide acétique fort. A cette solution chaude, on ajoute son volume d'alcool méthylique, puis on la filtre dans un ballon préalablement rincé à l'acide acétique chaud, à travers un filtre et un entonnoir préalablement rincés eux aussi. La cristallisation commence presque immédiatement. Il se dépose de l'isodypnopinacoline d'abord et de l'homodypnopinacoline ensuite. Après deux jours, on essore les produits qui se sont séparés et on les fait recristalliser une deuxième fois dans le mélange d'acide acétique et d'alcool. Le dépôt est maintenant presque blanc. Si l'on veut obtenir l'isodypnopinacoline, on le fait bouillir avec de

l'alcool éthylique contenant au moins 3 % de potasse caustique. A condition de prolonger l'ébullition un nombre suffisant d'heures, il est superflu de faire passer tout le produit en solution. Après au moins vingt-quatre heures de repos à froid, on essore les cristaux formés, on les lave à l'acide acétique ou chlorhydrique et on les fait recristalliser une dernière fois soit dans l'alcool acidulé, soit dans l'acide acétique. On obtient ainsi de 110 à 125 grammes d'isodypnopinacoline α d'une pureté très suffisante pour les besoins courants.

C. — Comme nous venons de le voir, on obtient, à côté de l'isodypnopinacoline, son isomère homo. Celui-ci devient le produit principal de la réaction si la température n'a pas dépassé 55° pendant la préparation. Pour isoler ce second produit, on traite à plusieurs reprises par la benzine et la ligroïne le mélange déjà presque blanc des deux pinacolines obtenues. Les rendements sont satisfaisants.

Lorsqu'on se sert de l'alcool comme véhicule de recristallisation de l'isodypnopinacoline après le traitement par la potasse à 3 %, il est indispensable d'aciduler celui-ci; si l'on néglige cette précaution, on obtient de l'homodypnopinacoline à côté du produit iso que l'on entendait purifier. C'est que l'action isomérisante de la potasse sur l'homodypnopinacoline est réversible. Je transcris à ce sujet la note suivante de mon carnet de laboratoire :

50 grammes d'isodypnopinacoline bien pure et bien blanche sont dissous dans 1 kilogramme d'alcool à 94°, non dénaturé, additionné de 30 grammes de potasse caustique. Après cinq heures d'ébullition,

le mélange est abandonné à la cristallisation. Je filtre le surlendemain sans essorer. Dans ces conditions, l'isodypnopinacoline se dépose en paillettes très légères, qui, après s'être égouttées pendant deux jours, pèsent 92 grammes. La masse cristalline est donc restée imprégnée de son poids environ d'alcool alcalinisé, ce qui représente à peu près 1gr4 de potasse sèche. Le produit est divisé en deux parties égales : l'une moitié est recristallisée dans l'acide acétique et dépose un beau produit très blanc, fondant à 136° C. (corr.). L'autre partie est soumise à l'ébullition pendant quatre heures avec 500 grammes d'alcool à 94°. Par refroidissement, il se dépose d'abord de l'isodypnopinacoline α, puis des flocons, que je sépare par lévigation. A l'isodypnopinacoline non transformée, j'ajoute l'alcool mère et je fais bouillir pendant quatre heures. J'obtiens de nouveau deux produits : je sépare les flocons et je fais bouillir derechef ; et ainsi de suite, cinq fois consécutivement. Le produit floconneux ainsi obtenu est enfin lavé, desséché et dissous dans quatre fois son poids de benzine bouillante. A la solution benzénique refroidie, j'ajoute son poids de naphte. Des flocons d'aiguilles se déposent et je les purifie encore deux fois par le même procédé. J'obtiens ainsi finalement 7gr5 d'un produit que je puis considérer comme pur. C'est de l'homodypnopinacoline présentant tous les caractères que MM. Delacre et Gesché lui ont assignés (*). Je l'ai identifiée par ses points de fusion, par la coloration orange qu'elle donne en présence de l'acide sulfurique concentré et par sa transformation intégrale, sous l'influence de la potasse alcoolique à 3 °/o, en isodypnopinacoline α fus. 136° C. Toutes ces opérations ont été faites le soir ou la nuit et les cristallisations ont eu lieu dans un réduit obscur, afin d'éviter l'action isomérisante du soleil.

Ayant obtenu plusieurs fois cette même transformation dans des conditions opératoires plus ou moins voisines, mais dans des circonstances où l'alcalinité de l'alcool

---

(*) *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique,* 3e sér., t. XXXII, 1896, pp. 457 à 460.

(**) *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique* (Classe des sciences), 1903.

employé devait être assez différente, je me suis efforcé de trouver les meilleures conditions possibles de préparation de l'homodypnopinacoline par cette réaction. Voici le procédé qui m'a donné jusqu'ici les meilleurs résultats :

10 grammes d'isodypnopinacoline pure sont chauffés à reflux, pendant trois heures, avec 200 grammes d'alcool éthylique redistillé sur la chaux, auxquels il est ajouté 150 gouttes de potasse normale, déversée au moyen d'un compte-gouttes ordinaire de pharmacie. Le ballon est alors retiré du bain-marie et abandonné à la cristallisation. Pendant les deux premières heures environ, il se dépose de l'isodypnopinacoline non transformée. Puis apparaissent les premiers cristaux d'isomère homo. J'essore alors *rapidement*, et dans la liqueur mère l'homodypnopinacoline se sépare promptement sous forme de flocons très volumineux. Lorsque, après quelques heures, il ne se sépare plus de produit, j'essore de nouveau, et à l'alcool mère j'ajoute progressivement de l'eau jusqu'à formation d'un léger louche. J'obtiens de cette manière, au bout de quelques heures, un nouveau dépôt et, de même, un troisième. Le rendement en homodypnopinacoline brute est ainsi, en moyenne, de $3^{gr}5$, qui donnent, après deux recristallisations dans la benzine-ligroïne, environ $2^{gr}5$ de produit absolument pur.

Je ne pense pas qu'il soit possible d'obtenir des rendements meilleurs en milieu éthylique. Je m'étais proposé d'abord de répéter mes expériences au sein des alcools méthylique et amylique, mais la découverte de mon procédé de préparation de l'homodypnopinacoline à partir de l'acétophénone a réduit fortement l'opportunité de pareilles recherches.

Il n'en reste pas moins intéressant de relater les plus

instructifs parmi les essais que j'ai exécutés en milieu éthylique. Ils sont consignés dans le tableau de la page suivante.

Dans ces expériences, je me suis servi d'une solution potassique, dont 10 gouttes, déversées au moyen d'un compte-gouttes ordinaire de pharmacie, ont saturé, en moyenne, $7^{cc}1$ d'acide sulfurique déci-normal. Ceci conduit à 0,005976 de KOH par goutte employée. J'ai pris le chiffre 0,004 comme base de mes calculs. Les termes « résultat positif » et « résultat négatif » se rapportent aux cristallisations observées à l'œil nu, par simple refroidissement du mélange réactionnel non acidifié.

Ces essais montrent qu'à des concentrations fort différentes en pinacoline et en potasse, il existe des états d'équilibre où l'isodypnopinacoline α et l'homodypnopinacoline peuvent coexister dans des proportions variables. Ils montrent aussi :

1° Que dans des conditions identiques de concentration en pinacoline, il existe des concentrations minima et maxima en potasse, en dessous et au-dessus desquelles l'isodypnopinacoline ne se transforme plus (exp. I à V);

2° Qu'en prolongeant le temps de chauffe, on n'augmente pas le rendement en homodypnopinacoline (exp. VII);

3° Qu'en augmentant la quantité de solution isomérisante, on n'obtient pas le déplacement d'équilibre dans le sens désiré (exp. VIII à X);

4° Qu'il existe, en revanche, une relation entre la concentration en pinacoline et celle en potasse; que plus les solutions sont riches en pinacoline, plus elles doivent aussi être alcalines (exp. suivantes, particulièrement XII et XIII).

Numéro de l'essai.	Employé $C^{32}H^{26}O$.	Employé alcool.	Employé KOH.	Concentration de la potasse.	Concentration en $C^{32}H^{26}O$.
	Grammes.	Grammes.	Gouttes.	°/ooo.	°/o.
I	1,5	45	2	1.77	3.3
II	1,5	45	5	4.44	3.3
III	1,5	45	10	8.88	3.3
IV	1,5	45	20	17.7	3.3
V	1,5	45	30	26.6	3.3
VI	1,5	45	40	35.5	3.3
VII	1,5	45	15	13.32	3.3
VIII	1,5	150	50	13 32	1.0
IX	1	50	17	13.6	2.0
X	1	50	23	19.6	2.0
XI	1	40	13	13.0	2.5
XII	1	40	18	18.0	2.5
XIII	1,5	30	13	17.3	5.0
XIV	1,5	30	18	24.0	5.0
XV	1	20	20	40.0	5.0
XVI	1	20	30	60.0	5.0
XVII	1	30	30	40.0	3.33
XVIII	1,5	30	60	80.0	5.0
XIX	1,5	30	75	100.0	5.0
XX	1,5	30	90	120.0	5.0

Rapport $KOH : C^{32}H^{26}O$.	Durée de la chauffe.	Résultat.	OBSERVATIONS.
	Heures.		
0,0053	2	négatif	
0,0133	2	positif	Rendement déjà appréciable.
0,0266	2	—	Rendement très appréciable.
0,0533	2	—	— —
0,08	2	négatif	
0,1066	2	—	
0,04	6	positif	Rendement inférieur à celui de II, III et IV.
0,133	2	négatif	Après trois jours, la liqueur mère, acidulée, dépose quelques flocons.
0.068	2	positif	Dépôt d'homodypnopinacoline au bout de quatre jours, mais rendement insuffisant.
0,098	2	—	Rendement insuffisant.
0,042	2	—	Dépôt au bout de deux jours seulement.
0,072	2	—	Le dépôt commence au bout de deux jours.
0.0346	2	—	Le dépôt commence après trois heures; bon rendement.
0,048	2	—	Le dépôt commence après trois heures; bon rendement.
0,080	2	—	Il y a de l'isodypnopinacoline non dissoute, 0gr38; le liquide même dépose immédiatement de l'homodypnopinacoline.
0,120	2	—	Le dépôt d'homodypnopinacoline commence au bout de quelques secondes.
0,080	2	—	Rendement médiocre.
0,160	2	—	Beaucoup d'isodypnopinacoline reste indissoute. Rendement médiocre.
0,200	2	—	Rendement satisfaisant.
0,240	2	—	Rendement satisfaisant.

L'alcool est le meilleur véhicule pour faire cristalliser l'isodypnopinacoline. Lorsqu'on se sert de benzine et de ligroïne, on obtient rapidement des produits bien blancs, mais on est bien étonné, en redissolvant ces produits dans l'alcool ou dans l'acide acétique, de voir que les solutions sont encore fort colorées, ce qui tient à la présence de la résine dont j'ai parlé au début de ce chapitre.

Une autre observation encore dont l'explication jusqu'ici m'échappe, mérite d'être citée ici. En recristallisant dans la benzine-ligroïne une isodypnopinacoline bien pure (fus. 136° corr.), on obtient un produit dont le point de fusion atteint à peine 131°5; après deux jours de chauffe à l'étuve à 110°, cette constance n'est remontée qu'à 133°2.

L'homodypnopinacoline accompagnant l'isodypnopinacoline en petites proportions se dissimule avec elle pendant les cristallisations.

C'est ainsi que j'ai dissous dans l'alcool neutre 6 grammes d'isodypnopinacoline avec 30 centigrammes d'homodypnopinacoline. Il s'est déposé des cristaux vitreux dont le point de fusion, après trois cristallisations nouvelles, était de 133°5. Cette constante remonta à 136° C. lorsque j'eus traité le produit par la potasse alcoolique à 3 % et que j'eus ensuite fait recristalliser une dernière fois dans l'alcool additionné de 5 % d'acide acétique les cristaux ainsi obtenus.

Il m'a été donné, en passant, d'observer une propriété intéressante de l'homodypnopinacoline. Il suffit de faire bouillir au bain-marie sa solution alcoolique alcalinisée

au dix-millième, pour qu'elle se transforme partiellement. Par refroidissement, il se dépose au fond des ballons, à côté de beaucoup de produit non transformé, des mamelons jaune paille d'homodypnopinacone. Ces mamelons disparaissent lorsqu'on fait bouillir le mélange réactionnel avec de l'alcool alcalinisé un peu plus fort ou avec de l'acide acétique mélangé de 20 % de son poids d'anhydride. Dans les deux cas, on n'obtient plus que de l'homodypnopinacoline.

Je n'ai pas examiné cette réaction au point de vue quantitatif. Elle est très délicate et ne s'effectue qu'entre des limites d'alcalinité très resserrées, ainsi qu'il résulte du petit tableau de la page suivante.

On se rappelle que M. Delacre avait établi que l'isomérisation de la dypnopinacone en homodypnopinacone était un phénomène réversible sous l'action d'un seul et même réactif (*). Mes essais montrent à leur tour que l'isodypnopinacoline, dérivant de l'homodypnopinacoline sous l'action de la potasse, peut revenir à son point de départ dès qu'on modifie la concentration de ce réactif.

Passons maintenant aux déshydratations. M. Delacre (**) a prouvé que la potasse pouvait transformer l'homodypnopinacone en homodypnopinacoline. Mes expériences ont fait voir que la potasse peut aussi servir à fixer sur cette même homodypnopinacoline une molécule d'eau qui la transforme en homodypnopinacone.

(*) *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique*, 3e sér., t. XXXII, 1896, pp. 449 et 452.

(**) *Ibid.*, p. 459. L'expérience XIX de la page 1060 répète cet essai et le met plus nettement en lumière.

Numéro de l'expérience.	Homodypnopinacoline.	Alcool redistillé sur la chaux.	KOH gouttes (*).	Concentration de la potasse.	Durée de la chauffe.	RÉSULTAT.
I	0.50	50 grammes.	8	0.68 °/ooo	3 heures.	négatif
II	0.50	50 —	10	0.8 °/ooo	3 —	positif
III	0.45	45 —	12	1.066 °/ooo	3 —	positif
IV	0.30	30 —	9	1.2 °/ooo	2 —	douteux
V	0.60	60 —	24	1.6 °/ooo	3 —	positif
VI	0.60	60 —	27	1.8 °/ooo	3 —	négatif

(*) Je me suis servi d'un compte-gouttes ordinaire de pharmacie; dix gouttes de solution équivalaient à 0,004 de potasse.

Enfin, M. Gesché (*) a obtenu de l'acétophénone en traitant la dypnone par la potasse diluée. Cette réaction encore est réversible, car nous avons vu que la potasse ou la soude fortes ou sèches peuvent déshydrater l'acétophénone. Mais on obtient ainsi, cela va de soi, non plus la dypnone, mais les produits de l'action ultérieure de la potasse ou de la soude sur ce composé.

CHAPITRE II.

De la déshydratation de l'isodypnopinacoline α.

Comme l'a établi M. Delacre (**), la déshydratation de l'isodypnopinacoline en vase clos à 100° en présence d'acide acéto-chlorhydrique donne naissance à deux carbures en $C^{32}H^{24}$.

Le premier de ces carbures, que nous appelons l'isodypnopinacolène α, fond à 175°5 (corr.). M. Delacre avait trouvé 172° (non corr.). Il suffit de le faire recristalliser un petit nombre de fois dans l'acide acétique ou dans l'alcool pour l'obtenir à l'état d'absolue pureté. Il jaunit assez rapidement à la lumière. Il se présente tantôt en cristaux lamellaires ou tabulaires, tantôt en aiguilles très nettes, ayant encore le même point de fusion. Ces changements de forme ont très longtemps occupé mon attention, et leur étude a conduit à des résultats très intéressants, que je préfère cependant publier dans une notice spéciale.

L'isodypnopinacolène β, au contraire, est très difficile à

(*) *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique* (Classe des sciences), 1900, pp. 295-296.

(**) *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique,* 3e sér., t. XXIX, 1895, pp. 865 à 867.

purifier. Dans les conditions où il se forme, il se trouve accompagné d'isodypnopinacoline non transformée, d'hydrocarbure α ou de résines incristallisables. Pour le retirer de ses mélanges, on en prépare des solutions assez étendues dans l'acide acétique fort, auquel on ajoute de l'alcool méthylique. Il faut souvent deux ou trois traitements de ce genre avant qu'on obtienne un dépôt cristallin. On continue à purifier par recristallisation dans l'acide acétique fort, jusqu'à ce qu'on n'observe plus la formation d'un dépôt mamelonné, lequel est un indice certain de la présence d'isomère α en des proportions encore assez notables. Ce résultat est atteint, en général, après une demi-douzaine d'opérations. Les liqueurs sont devenues alors très peu colorées. A partir de ce moment, il est avantageux de poursuivre la purification en milieu alcoolique. Après huit ou dix cristallisations nouvelles, le point de fusion ne s'élève plus. Il est alors de 171° (corr.). M. Delacre avait trouvé 159°-160° (non corr.).

Le produit pur est très léger, d'un beau blanc argenté. Pendant les purifications, la perte en matériel est très considérable.

J'ai jugé utile de refaire la combustion et la cryoscopie de l'isodypnopinacolène β. Et voici les résultats que j'ai obtenus :

Série B.

Combustions :	I.	II.	Calc. pour
Prise d'essai .	0,1416	0,2137	$C^{32}H^{24}$
Eau . . .	0,0776	0,1153	
CO^2 . . .	0,4868	0,7365	
C °/₀ . . .	93.76	93.98	94.12
H °/₀ . . .	6.08	6.05	5.88

Cryoscopie.	Benzène : 14gr0249		Congélation : 3°757	
Substance	0,3009	abaissement	0,262	M = 401
	0,4940		0,508	379
	0,7783		0,727	374
	0,9058		0,809	391
	1,3421		1,175	399
	1,6137		1,457	387

Calculé pour $C^{32}H^{24}$ M = 408.

Afin de découvrir les relations existant entre les conditions de formation des deux isodypnopinacolènes, j'ai commencé par étudier systématiquement la déshydratation de l'isodypnopinacoline α. Je me suis servi de l'acide acéto-chlorhydrique, de l'acide acéto-bromhydrique, de l'acide acéto-sulfurique et du chlorure d'acétyle.

Les seuls produits intéressants et nets ont été l'isodypnopinacoline α non transformée et les deux isodypnopinacolènes. Il est avantageux, dans toutes ces opérations, de se servir d'isodypnopinacoline purifiée avec le plus grand soin. On regagne largement en rendement et en netteté ce qu'on perd en matériel et en travail pendant les purifications.

J'ai particulièrement étudié l'action de l'acide acéto-chlorhydrique en vase clos à 100°, et de l'acide acéto-sulfurique à l'ébullition et à reflux. J'ai fait varier la composition des réactifs et la durée de la chauffe. Les résultats peuvent se résumer en disant qu'au bout d'un temps assez long dans le cas de l'acide chlorhydrique, plus court pour l'acide sulfurique, l'isodypnopinacoline est complètement transformée. Les rendements en pro-

duit α et β dépendent de la « force » de l'acide minéral employé, c'est-à-dire de sa masse et de sa concentration.

Un acide déshydratant « faible » favorise le rendement en produit β. S'il devient plus fort, c'est le carbure α qui se forme en plus grande quantité. Et, enfin, s'il devient plus fort encore, c'est de nouveau la production d'isomère β qui est avantagée. Moins nettement accusée avec l'acide chlorhydrique, cette relation se vérifie d'une manière éclatante quand on se sert d'acide sulfurique. Les expériences consignées aux deux tableaux suivants permettent de s'en rendre compte :

Acide chlorhydrique. — Après la chauffe en vase clos, on recueille le produit qui n'est pas dissous. Il est tantôt cristallisé et tantôt résineux. On le fait recristalliser dans l'acide acétique. A l'acide mère, on ajoute de l'alcool méthylique; souvent il se forme ainsi un dépôt, puis on en obtient un troisième en précipitant par l'eau. Les huit expériences qui suivent montrent suffisamment la marche du phénomène. (Voir p. 1069.)

Acide sulfurique. — L'isodypnopinacoline est dissoute, à l'ébullition, dans l'acide acétique. Puis on introduit l'acide sulfurique éventuellement déjà additionné d'eau. Le plus souvent, il se sépare rapidement une couche dont on n'a d'ailleurs pas à se préoccuper. Dès qu'on entend interrompre la réaction, on verse le mélange réactionnel dans beaucoup d'eau. On fait bouillir pour agglomérer le précipité. Si l'on n'y réussit pas, une ample addition d'ammoniaque conduit souvent au but. On recueille ensuite le gâteau et on le fait recristalliser. Voir les résultats obtenus pages 1070-1071.

Numéro.	Pinacoline.	Acide acétique.	Acide chlorhydrique.	Chauffe.	Pinacoline non transformée.	Carbure α.	Carbure β
I	10	120gr à 99 %	30 D 1.19	3 jours		8,7	0,6 brut
II	10	—	—	2 jours ou quelques heures	présence	diminue	invariable
III	10	—	—	4 à 6 jours	absence	8,7	0,6 brut
IV	10	—	30 saturé dans le mélange glace-sel	3 jours		7,8	1,2 —
V	10	240gr à 99 %	60gr D 1.19	3 —		8	1,3 —
VI	10	360gr à 99 %	90gr D 1.19	3 —		7,5	1,8 —
VII	20	120gr à 99 %	30gr D 1.19	10 heures		6	1,5 —
VIII	30	360gr à 94 %	90gr D 1.19	2 à 3 jours		17	6 —

Numéro de l'expérience.	Pinacoline.	Acide acétique glacial.	Acide sulfurique.	Chauffe.
I	5	60	2 gr.	20 m.
II	5	60	2	60
III	5	55	2	40
IV	20	50	20	12
V	50	500	50	1 h.
VI	10	50	10 + eau 20	2
VII	5	50	5 + eau 5	2
VIII	5	50	10 + eau 5	1
IX	5	50	10 + eau 5	2
X	10	100	18 + eau 12	1
XI	10	100	25 + eau 10	1
XII	30	300	96 + eau 24	1
XIII	10	100	fumant 20	1 1/2
XIV	10	100	—	5

Pinacoline non transformée.	Hydrocarbure α.	Hydrocarbure β.	OBSERVATIONS.
présence	absence	présence	
absence	présence	»	
»	»	4 gr. brut	
»	11 gr.	7 gr	
»	23	11 gr. pur	C'est, jusqu'ici, la meilleure méthode de préparation du carbure β.
présence	absence	à peine présence	
»	»	présence plus nette	
»	3 gr.	1gr3	
»	—	—	
»	7	»	
»	7,4	»	
»	23gr5 pur	»	C'est ma nouvelle méthode de préparation du carbure α.
»	»	3gr5	
néant	néant	néant	L'eau ne précipite plus rien. Mais quand à la liqueur précipitée chaude, on ajoute de l'ammoniaque, il se forme des paillettes blanches, brillantes, solub'es dans l'eau, et qui s'en précipitent sous forme de gélatine quand on ajoute NH^4Cl. C'est probablement un dérivé sulfoné.

Acide bromhydrique.

En employant à la place de l'acide acéto-chlorhydrique un mélange de 10 grammes de pinacoline, de 120 grammes d'acide acétique avec 30 grammes d'acide bromhydrique aqueux saturé à froid, ou enfin encore 150 grammes d'acide acétique saturé de gaz bromhydrique dans le mélange de glace et de sel, on obtient encore un mélange d'hydrocarbure α et β. Je n'ai pas jugé suffisamment intéressant d'examiner en détail cette réaction, qui paraît être parallèle à celle des acides précédents.

Chlorure d'acétyle.

En vase clos à 100°, le chlorure d'acétyle se comporte comme l'acide acéto-chlorhydrique. Par ébullition à reflux, la transformation est très lente au début. La précipitation par l'eau du produit de la réaction, pendant quatre heures, de 1 partie d'isodypnopinacoline avec 15 parties de chlorure d'acétyle a donné une substance jaunâtre qui est presque exclusivement du produit non transformé. Il m'est cependant arrivé, mais sans que j'aie pu reproduire ce phénomène à volonté, d'obtenir, après deux jours de chauffe, une espèce de résine jaune-serin, qui dans la benzine-ligroïne a donné des flocons soyeux jaunes. Je reviendrai plus tard sur cette réaction.

Sachant maintenant dans quelles conditions de concentration en acide acétique, en acide sulfurique et en eau, l'équilibre intervenant est favorable à la formation de chacun de ces isomères, j'ai fait bouillir pendant plusieurs heures de l'hydrocarbure β avec un acide de la

composition la plus favorable à la formation du produit α et inversement. Dans aucun cas, je n'ai obtenu de transformation. Je suis donc en droit de conclure que les isodypnopinacolènes ne dérivent pas l'un de l'autre par simple isomérisation sous l'influence des acides. L'isodypnopinacoline α se rapproche, au contraire, par ses propriétés, de la pinacoline ordinaire, laquelle se comporte tantôt comme ayant telle et tantôt comme ayant telle autre constitution. A cet égard, l'étude des isodypnopinacolènes pourra nous fournir plus tard des renseignements et des enseignements précieux.

CHAPITRE III.

Étude de l'isodypnopinacolène α.

A. — Action de la chaleur.

Dans le vide, l'isodypnopinacolène α distille facilement et sans s'altérer; 10 grammes de produit, distillés au bain d'alliage de Wood dans un petit ballon d'Anschutz, ont donné $9^{gr}7$ de distillat d'un beau jaune d'ambre qui se solidifie rapidement et cristallise. Redissous dans l'acide acétique, ce produit reprend la forme cristalline et le point de fusion du composé primitif.

A la pression ordinaire, le point d'ébullition de l'isodypnopinacolène α est très élevé et il est fort difficile de le distiller. J'y suis cependant parvenu en me servant d'un très petit ballon d'Anschutz, à tubulure latérale très rapprochée de la panse et que je maintenais très fortement incliné, le récipient appuyé sur une toile métallique. En plaçant un fort bec de Bunsen sous la toile

métallique et un deuxième léchant franchement la partie supérieure de la panse, et enfin en en promenant constamment un troisième le long du col et de la partie étranglée du tube abducteur, on obtient un lent passage de produit, qui se fige dès qu'il a dépassé les parties très chaudes de l'appareil ; 5 grammes d'hydrocarbure m'ont donné 4gr25 de distillat. C'est du produit non transformé, accompagné cependant d'une petite quantité d'isomère β. Il reste dans le ballon un résidu goudronneux, dont je n'ai pu rien extraire de défini. Dans l'espoir de majorer les rendements en produit β par cette réaction, j'ai chauffé pendant quatre heures au bain de limaille de fer, jusqu'à coloration rouge sombre, de l'isodypnopinacoline α dans un ballon de Kjeldahl maintenu vertical. Le résultat n'a pas été heureux.

B. — Action de la potasse.

Quand on porte pendant une heure et demie à 220° (au bain de vapeur de naphtaline) un mélange de 35 parties de potasse fondue et de 5 parties d'isodypnopinacolène, celui-ci est transformé. Après lavage à l'eau, on obtient un produit qui, après deux ou trois purifications dans l'acide acétique, se présente en cristaux étoilés mats. Quand on dissout ces cristaux dans peu de chloroforme et que sur la solution chloroformique on verse prudemment de l'éther, de manière à avoir une superposition des deux liquides, qui alors se pénètrent lentement, on observe la formation de magnifiques cristaux parallélipipédaux, parfois un peu allongés en aiguilles, souvent groupés par leur base autour d'un même point d'attache. Ils fondent à 173°.

Malgré la netteté de la forme cristalline, ce produit n'a pas donné de combustions bien satisfaisantes :

Série C.

Combustions :	I.	II.	III.	IV.
Prise d'essai	0,3624	0,3234	0,2909	0,4000
Eau . . .	0,1960	0,1762	0,1585	0,2176

CO^2	1,2066	1,2170	1,0740	1,0850	0,9444	0,9692	1,3255	1,3458
	0,0104		0,0110		0,0248		0,0203	

					Moyenne
H °/₀. . .	6.06	6.11	6.10	6.10	6.09
C °/₀. . .	91.56	91.49	90 85	91.74	91.43

Cryoscopie. Benzène : 14gr6289 Congélation : 2°340

Prises d'essai :	abaissement	M =
0,3672	0,306	410
0,7436	0,633	394
1,0798	0,910	398
1,2179	1,012	403

Ces chiffres s'accordent assez bien, pour le pourcentage en carbone et la grandeur moléculaire, au symbole $C^{32}H^{20}O$, qui exige C °/₀ 91.43 et H °/₀ 4.78. Toutes ces combustions ont été faites avec un même tube, et il se peut ainsi que ce que j'ai trouvé en trop peu pour le carbone dans l'analyse III se soit retrouvé en trop à l'analyse IV. Mais les nombres trouvés pour l'hydrogène sont beaucoup trop forts.

Il est vrai que j'ai dû me servir de bouchons en liège, ce qui nous expose toujours à trouver trop d'eau.

Je n'ai pas soumis ce produit à d'autres essais.

C. — Action des réducteurs.

J'ai soumis sans succès l'isodypnopinacolène en solution dans les alcools éthylique et méthylique, neutres et acidifiés, à l'action de l'amalgame de sodium d'une teneur de 2, 5 et même de 10 %. J'ai fait bouillir sa solution alcoolique fortement alcalinisée avec de la poudre de magnésium et d'aluminium, et je n'ai pas obtenu de réduction. Une autre série d'essais en milieu acétique avec la poudre de zinc et avec la poudre d'étain est restée sans résultat, et je n'ai pas été plus heureux en étendant sa solution benzénique sur de l'eau renfermée dans un petit ballon, dans lequel je laissais tomber des morceaux de sodium. Je n'ai pas essayé l'acide iodhydrique.

D. — Action de l'acide sulfurique.

Lorsqu'on dissout 5 grammes d'isodypnopinacolène α dans 100 grammes d'acide acétique, qu'on ajoute 50 grammes d'acide sulfurique et qu'on fait bouillir pendant cinq ou six heures, on obtient une liqueur très foncée que l'eau ne précipite plus, mais dont on peut extraire quelques cristaux du produit que j'ai mentionné à propos de l'action de l'acide de Nordhausen sur la solution acétique de l'isodypnopinacoline. Je ne l'ai pas étudié.

E. — Action de l'acide nitrique.

Lorsqu'on dissout 10 grammes d'isodypnopinacolène dans 200 grammes d'acide acétique bouillant, et qu'on ajoute à cette solution 40 grammes d'acide nitrique ordi-

naire ou, mieux encore, de l'acide fumant, on observe très rapidement la formation d'un précipité jaune. On fait bouillir pendant une heure et l'on précipite par l'eau. La poudre ainsi obtenue est séchée, puis redissoute dans une petite quantité d'aniline bouillante avec laquelle elle fait des solutions d'un rouge-brun très foncé. Elle s'en sépare par refroidissement sous forme d'une poudre jaune qui, examinée au microscope, se trouve être constituée par des mamelons sphérocristallins. On répète une seconde fois la purification, en essorant à la trompe et en lavant avec de la benzine. Finalement, on suspend la poudre dans de l'eau additionnée d'acide acétique, on fait bouillir pendant une demi-heure et l'on essore une dernière fois. Enfin, séché à l'étuve, le produit peut être considéré comme pur. Il fond alors à 272° C. (observé au bain d'acide phosphorique). On peut d'ailleurs l'obtenir à l'état de jolis petits cristaux maclés jaunes en le faisant cristalliser dans le nitrobenzol. Mais il reste assez bien de produit dans le liquide mère.

En voici l'analyse :

Série D.

1) Dosage de l'azote. — Méthode de Dumas.

	I.	II.	III.	Calculé
Prise d'essai.	0,5432	0,4971	0,6652	pour
Volume de l'azote . . .	16cc1	14cc9	19cc3	$C^{32}H^{23}NO^{2}$.
Température	9° C.	9° C.	10° C.	
Pression barométrique. .	740.5	740	751	
Tension de la vapeur d'eau	8.5	8.5	9	
N °/₀	3.44	3.52	3.42	3.10

2) Combustion.

Prise d'essai.	0,2176	0,3080	0,1983	
Eau	0,1033	0,1448	0,0897	
CO^2	0,6766	0,9550	0,6149	
H °/₀	5.32	5.27	5.07	5.08
C °/₀	84.79	84.56	84.56	84.77

F. — Action du brome.

I. *Bromuration équimoléculaire en solution sulfocarbonique.* — On dissout l'hydrocarbure dans cinquante fois son poids de sulfure de carbone et l'on y introduit ensuite, pesée dans une ampoule, 1 molécule de brome sec. Celui-ci est absorbé par la solution, en même temps qu'il se dégage de l'acide bromhydrique.

La réaction met plus d'un mois à se parfaire dans l'obscurité complète, tandis qu'au soleil elle est terminée au bout d'une vingtaine de minutes. On distille alors le sulfure de carbone et l'on reprend par la benzine bouillante la masse jaune poreuse. A cette solution, on ajoute de la ligroïne, et la cristallisation commence bientôt. Il se dépose de belles aiguilles très légères, qui, purifiées deux fois encore, constituent un produit presque blanc, avec une légère nuance jaune crème, fondant à 199°-200° C.

En voici l'analyse et la cryoscopie :

Série E.

1) Dosage de brome :	I.	II.	Calc. pour
Prise d'essai	0,3128	0,1912	$C^{32}H^{25}Br$.
AgBr	0,1256	0,0736	
Br °/₀	16.58	16.38	16.42

2) Combustion :	I.	II.	
Prise d'essai	0,2819	0,2620	
Eau	0,0127	0,0172	
CO^2.	0,8126	0,7551	
H °/₀	5.00	4.90	4.72
C °/₀	78.61	78.60	78.85

Cryoscopie. — Le produit étant peu soluble dans la benzine, j'ai dû me borner à opérer sur une seule concentration, avec laquelle j'ai fait quatre lectures :

Benzine : 25gr1280. Congélation : 3°740.

Prise d'essai : 0,3695	Abaissement : 0,157	M = 458
	0,147	490
	0,150	477
	0,150	477

Moyenne : M = 475; Calculé pour $C^{32}H^{23}Br$. M = 487

L'action, sur ce bromure, de l'amalgame et des alcalis m'a donné plusieurs produits nouveaux, admirablement cristallisés, dont je dois remettre la description à plus tard.

II. *Bromuration équimoléculaire en milieu chloroformique.* — Je dissous l'hydrocarbure dans quarante fois son poids de chloroforme et j'ajoute 1 molécule de brome sec pesée dans une ampoule. Le mélange réactionnel est abandonné à lui-même à la lumière diffuse jusqu'à décoloration. Il faut quatre ou cinq jours en

moyenne. Je distille alors le chloroforme, je reprends par la benzine en petite quantité et j'ajoute du naphte. Au bout d'un petit nombre d'heures, la cristallisation commence. Le produit se présente en grandes tables, le plus souvent groupées en étoiles, fondant à 192° C.

Voici leur analyse et leur cryoscopie :

Série F.

1) Dosage du brome :	I.	II.	Calc. pour
Prise d'essai	0,3420	0,5073	$C^{32}H^{25}Br$.
AgBr	0,1311	0,1970	
Br °/₀	16.32	16.53	16.42

2) Combustion :	I.	II.	
Prise d'essai	0,2518	0,2930	
Eau	0,0113	0,0131	
CO^2.	0,7266	0,8447	
H °/₀	4.98	4.97	4.72
C °/₀	78.70	78.63	78.85

3) Cryoscopie : Benzène : 12gr9820 Congélation : 2°341

Prise d'essai :	Abaissement :	M =	Calculé
0,2018	0,166	460	pour
0,3920	0,310	478	$C^{32}H^{25}Br$.
0,5219	0,400	492	M = 487
0,8216	0,661	470	
1,0327	0,802	486	
1,4006	1,066	479	

Ce deuxième bromure, réduit par l'amalgame, donne naissance à un nouveau produit, cristallisant en grandes tables.

III. *Bromuration équimoléculaire en milieu acétique.* — Lorsqu'on dissout à l'ébullition l'isodypnopinacolène α dans vingt fois son poids d'acide acétique, et qu'on ajoute ensuite une molécule de brome, celui-ci est complètement décoloré au bout de dix minutes d'ébullition. Il se dépose, par refroidissement, de jolis cristaux à base rectangulaire, parfois en forme d'enveloppes de lettres ou de trémies. Ce produit, recristallisé plusieurs fois, a donné à l'analyse des pourcentages en brome oscillant entre 12.20 et 15.60. La cryoscopie a donné une grandeur moléculaire de 425 en moyenne, et ces résultats ne sont conciliables avec aucune formule. Mais j'espère arriver à un produit mieux défini, soit par recristallisation dans le chloroforme-éther, soit en modifiant les conditions de bromuration, par exemple en ajoutant à la solution acétique bouillante du brome jusqu'à coloration persistante.

IV. *Bromuration bimoléculaire en milieu sulfocarbonique.* — On dissout l'isodypnopinacolène dans quatre-vingts fois son poids de sulfure de carbone, on ajoute 2 molécules de brome sec et l'on abandonne au soleil. Il faut, en hiver, plus d'un mois d'exposition. Au milieu de l'été, une dizaine de jours suffisent. On distille au bain-marie et à la pression ordinaire les trois quarts du sulfure de carbone et l'on termine dans le vide. Si on pulvérise le résidu de cette évaporation et le met en contact pendant trois à quatre minutes avec deux ou trois fois son poids de chloroforme, on obtient un premier soluté, qui, additionné soit d'éther, soit d'alcool méthylique, dépose rapidement de jolis cristaux aciculaires, mais dont la purification est très difficile. Je ne suis pas encore par-

venu à obtenir un produit de composition constante; il retient de 2 à 3 % d'halogène. Force m'est donc d'en remettre l'étude à plus tard. Le résidu de cette première macération est dissous dans 8 à 10 parties de chloroforme tiède, auquel on ajoute, après filtration, 6 à 8 parties de bon alcool méthylique. On reprend par le même dissolvant, au bout de trois ou quatre jours, le dépôt cristallin qui s'est formé et l'on répète trois fois cette purification. On obtient ainsi finalement un produit blanc en gros cristaux cubiques, fondant à 182° C. Leur analyse a donné Br % 28.59 et 28.42. La formule $C^{52}H^{22}Br^{2}$ exige 28.27 %. Je n'ai pas eu à ma disposition des quantités suffisantes de produit pour en faire la combustion et la détermination cryoscopique.

V. *Bromuration à sec.* — Dans un ballon bien sec, exposé en plein air, on introduit 10 grammes d'hydrocarbure finement pulvérisé et 15 centigrammes de fer réduit par l'hydrogène. On mélange intimement par agitation, puis on ajoute un grand excès de brome. Immédiatement il se produit un dégagement torrentiel de gaz bromhydrique, qui se modère au bout d'une dizaine de minutes, mais qui reprend dès qu'on agite le ballon. Finalement, on obtient une masse plus ou moins consistante, qu'on abandonne à elle-même pendant une nuit pour la chauffer le lendemain une heure durant au bain-marie. Le dégagement de gaz bromhydrique reprend quelque peu. Puis on ajoute de l'eau chaude, qui prend une partie du brome, on continue à chauffer au bain-marie et on renouvelle l'eau toutes les demi-heures. Finalement on remplace l'eau distillée par de l'eau

acidulée d'acide chlorhydrique, qui extrait le composé ferrique, et lorsque l'eau acidulée ne se colore plus, on filtre. On obtient ainsi un gâteau blanc jaunâtre, que l'on pulvérise et dessèche entre des doubles de papier buvard. Il pèse alors 30 grammes en moyenne. On le dissout dans le chloroforme bouillant, auquel on ajoute de l'alcool méthylique. On obtient ainsi une précipitation sous forme de poudre cristalline. Ce précipité, recueilli le lendemain, est redissous dans le chloroforme, auquel, cette fois, on ajoute de l'éther. On répète cette opération une fois encore, et le produit est pur. Ce sont de belles tables jaune paille, très nettes, parfois allongées en aiguilles ou groupées en étoiles. Exposées à la lumière solaire, elles se décomposent en prenant une teinte violacée; cette décomposition est très rapide lorsqu'on pulvérise le produit. On ne peut pas non plus le chauffer à l'étuve, car il s'y transforme rapidement en une résine jusqu'ici incristallisable. Il retient cependant le chloroforme avec une certaine énergie, et l'on ne parvient à l'en débarrasser qu'en le mettant pendant dix jours dans un exsiccateur à tubulure, qui est quotidiennement ouvert trois ou quatre fois, et mis ensuite en contact avec la trompe. Les analyses ci-jointes en témoignent.

Série G

1) Dosage du brome.	I.	II.	III.	IV.	Calculé
Prise d'essai.	0,3249	0,1398	0,2413	0,2032	pour
AgBr	0,5375	0,2238	0,3792	0,3196	$C^{32}H^{14}Br^{10}$.
Br °/o	70.41	68.12	66.89	66.94	66.78

2) Combustion :

Prise d'essai.	0,3490	0,2788	0,1321	0,1608	
Eau.	0,0539	0,0453	0,0192	0,0218	
CO^2.	0,4303	0,3422	0,1555	0,1886	
H °/o	1.73	1.82	1.63	1.52	1.17
C °/o	34.20	33.47	32.10	31.99	32.05

Ces dosages de brome sont faits, le premier avec un produit ayant séjourné pendant huit jours entre des doubles de papier buvard, le second avec un échantillon mis pendant un jour dans l'exsiccateur à vide, les deux autres enfin avec du bromure soumis pendant dix jours à ce traitement. Les combustions, elles aussi, ont été fort difficiles. Les expériences I et II, et d'autres encore que je ne mentionne pas ici, ont donné des résultats trop forts pour le carbone, même avec des tubes contenant 45 centimètres de chromate de plomb. On pouvait observer, après une ou deux combustions, que la première boule de l'appareil à potasse était légèrement colorée en rose violacé. Je suis finalement arrivé à de bons résultats en avançant un peu la nacelle et en chauffant très fortement le tube sur une longueur de 10 centimètres, entre la nacelle et les récipients à air et à oxygène. Je laisse ainsi passer pendant trois ou quatre heures un courant d'air chaud sur le produit et n'allume qu'alors les becs se trouvant de plus en plus près du produit. Il faut une dizaine d'heures pour mener l'opération à bonne fin. Suivant la recommandation de Bruce Warren (*), j'ai avantageusement remplacé le chromate

(*) *Chemical News*, 71, 143.

de plomb ordinaire par un mélange à parties égales de chromate de plomb finement pulvérisé et d'asbeste préalablement calciné et broyé. Ce mélange ne fond plus que très difficilement.

Le bromure que je décris ici n'a pas de point de fusion fixe; chauffé dans un tube à essais, il dégage abondamment des vapeurs d'acide bromhydrique et se transforme en une masse qui, épuisée par l'éther, donne une belle coloration violette très intense. Traité à 220° avec la potasse fondue, il se boursoufle et charbonne, en formant des espèces de serpents de Pharaon. Chauffé à 130°-140° et au-dessus avec la potasse alcoolique solidifiable, il donne une bouillie d'un beau rouge vermillon, dont je n'ai rien pu extraire de net. Mais lorsqu'on fait bouillir sa solution alcoolique additionnée de 3 parties pour cent de potasse, on obtient, par refroidissement, un dépôt pulvérulent qui, examiné au microscope, semble être plus ou moins cristallisé. On obtient aussi un dépôt floconneux peu net en introduisant de l'amalgame dans sa solution alcoolique bouillante et en ajoutant de temps en temps un peu d'acide acétique à la liqueur, pour que celle-ci ne devienne pas alcaline.

G. — Oxydation.

Lorsqu'à la solution bouillante de 3 grammes d'isodypnopinacoline dans 60 grammes d'acide acétique on ajoute 60 grammes d'une solution acétique au vingtième d'acide chromique, celle-ci verdit rapidement. Mais on n'obtient, à la recristallisation, que du produit primitif

non transformé. Si l'on ajoute constamment de cette solution chromique jusqu'à coloration vert-brun persistante, — il faut plus de 20 grammes de CrO_3, — on n'obtient plus de précipitation par l'eau, et l'oxydation semble avoir été complète. Mais si l'on se contente de 200 grammes de solution chromique et qu'on précipite alors par l'eau et neutralise à peu près par l'ammoniaque, on perçoit très nettement l'odeur d'acide benzoïque. Il est d'ailleurs possible d'identifier celui-ci en évaporant prudemment la solution neutralisée, en en extrayant ensuite, par l'éther, le résidu légèrement acidifié et en prenant son point de fusion. Mais les rendements sont mauvais. J'espère cependant, en examinant toute la série des oxydants susceptibles d'être employés ici, trouver le moyen de préparer de nouveaux produits. Le bioxyde de baryum, employé en milieu acétique, m'a semblé utile à cet effet. Je reviendrai très prochainement sur ce sujet.

La présente communication rentre dans le cadre des travaux entrepris depuis quinze ans par M. le professeur Delacre et ses élèves sur la synthèse graduelle du noyau benzénique. Mes recherches ont été faites toutes sous sa direction. Lorsque les circonstances m'ont obligé à quitter son laboratoire, M. Delacre a bien voulu me continuer ses conseils. Je manquerais au plus élémentaire comme au plus impérieux des devoirs, si je ne le priais ici d'agréer l'expression de ma profonde gratitude.

—

Sur l'isopropanol trichloré 1.1.1,

$Cl_3C - CH(OH) - CH_3$;

par Édouard Vitoria S. J., docteur en sciences.

Les dérivés chlorés des alcools sont des corps qui présentent un puissant intérêt, tant au point de vue physique qu'au point de vue chimique. Ils permettent, en effet, de déterminer les relations d'influence réciproque des radicaux - OH et - Cl, deux des plus importants parmi les radicaux fonctionnels des composés carbonés.

C'est à partir de l'étage C_2 que l'on rencontre des alcools chlorés où le composant alcool est intact. La série de chloruration de l'alcool éthylique est aujourd'hui complète, et je rappelle volontiers que c'est dans le laboratoire de Louvain que le second de ses termes, l'alcool bichloré $Cl_2CH - CH_2 (OH)$, a été mis au jour par M. le professeur Delacre. A l'étage C_3, on rencontre un certain nombre d'alcools de cette sorte se rattachant aux alcools *propylique* primaire $H_3C - CH_2 - CH_2 (OH)$ et *isopropylique* $H_3C - CH (OH) - CH_3$: ce sont les *monochlorhydrines propyléniques*

$$H_3C - CHCl - CH_2(OH)$$
$$H_3C - CH(OH) - CH_2Cl$$

et les *dichlorhydrines glycériques* d'ordres divers

$$ClH_2C - CHCl - CH_2(OH)$$
$$ClH_2C - CH(OH) - CH_2Cl.$$

Mais on ne connaissait guère, l'an dernier, au moment

où j'ai commencé ces recherches, les alcools propyliques polychlorés renfermant plusieurs atomes de chlore fixés sur le même atome de carbone, voisin du composant alcool.

A l'invitation de M. le professeur Louis Henry, je me suis proposé de combler cette lacune en préparant les alcools isopropyliques *bi-* et *trichlorés*, qui, avec la *chlorhydrine isopropylénique*, représentent les dérivés de méthylation des trois alcools éthyliques chlorés

$$\begin{array}{l} H_3C - CH(OH) - CH_2Cl \\ \qquad CH_2(OH) - CH_2Cl \end{array}$$

$$\begin{array}{l} H_3C - CH(OH) - CHCl_2 \\ \qquad CH_2(OH) \quad CHCl_2 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} H_3C - CH(OH) - CCl_3 \\ \qquad CH_2(OH) - CCl_3. \end{array}$$

J'aurais eu ainsi à ma disposition une série complète de composés permettant de déterminer, par les faits, l'influence exercée sur le caractère *alcool secondaire* par une quantité régulièrement progressive de chlore.

Pour obtenir ces composés, je ne pouvais évidemment pas songer à m'adresser à l'action directe du chlore sur la *mono-chlorhydrine isopropylénique* H_3C-CH(OH)-CH_2Cl. Cette action mériterait sans doute d'être examinée à fond : on peut prévoir déjà que, le chlore se portant de préférence sur le composant *alcool secondaire* > CH(OH), elle équivaudrait en fin de compte à l'action du chlore sur l'acétone.

Je me suis adressé dans ce but à la méthode si avanta-

geuse de préparation des alcools secondaires imaginée par M. Grignard, au cours du développement objectif de la méthode si féconde des synthèses organo-magnésiennes. On sait avec quelle facilité l'*aldéhyde acétique* $H_3C - CH = O$ se transforme en *alcool isopropylique* par l'emploi des composés méthylo-magnésiens. Les aldéhydes mono-, bi- et trichlorées

$$ClCH_2 - CH = O$$
$$Cl_2CH - CH = O$$
$$Cl_3C - CH = O$$

devaient, selon les analogies les mieux établies, me fournir les trois alcools *isopropyliques chlorés*

$$ClCH_2 - CH(OH) - CH_3$$
$$Cl_2CH - CH(OH) - CH_3$$
$$Cl_3C - CH(OH) - CH_3.$$

Le dérivé mono-chloré existant déjà, et les aldéhydes mono- et bichlorées

$$ClCH_2 - CH = O$$
$$Cl_2CH - CH = O$$

étant des composés d'une préparation laborieuse, alors que le dérivé *trichloré* ou le *chloral* $Cl_3C - CH = O$ constitue, au moins à l'état d'hydrate, un produit commercial, c'est par ce dernier que j'ai commencé cette recherche. Il s'est fait malheureusement, comme cela arrive fréquemment, que le manque de temps ne m'a pas permis de réaliser complètement l'œuvre que j'avais en vue, et c'est ainsi que j'ai l'honneur de rendre compte seulement, dans ce travail, de la préparation et des propriétés de l'*isopropanol trichloré* $CCl_3 - CH(OH) - CH_3$.

L'*isopropanol trichloré* $Cl_3C - CH(OH) - CH_3$ n'est pas un composé absolument nouveau dans la série des dérivés isopropyliques. Il fut mis au jour par M. Garzarolli-Turnlackh, en 1881 (*), au cours de ses remarquables travaux concernant l'action des composés organo-zinciques sur le *chloral* $Cl_3C - CH = O$.

On sait que le zinc-éthyle $(C_2H_5)_2Zn$ agit sur le chloral anhydre à la façon d'un réducteur hydrogénant et le transforme en *alcool trichloré* $CCl_3 - CH_2(OH)$ (**). L'aldéhyde bichlorée en est, dans une réaction analogue, transformée en *alcool bichloré* $Cl_2CH - CH_2(OH)$ (***). Le zinc-méthyle $(H_3C)_2Zn$ se comporte tout autrement, et sa réaction est d'un genre synthétique. Elle donne lieu à l'*alcool isopropylique trichloré* $Cl_3C - CH(OH) - CH_3$. Il est probable que cette réaction, outre qu'elle nécessite l'emploi d'un composé dont le maniement aussi délicat qu'est celui du zinc-méthyle, est d'un rendement peu avantageux, car l'auteur n'a eu à sa disposition qu'une fort petite quantité de matière, trop faible, dit-il, pour déterminer avec certitude le point d'ébullition de ce composé. Depuis 1881, quoiqu'il en annonçât l'intention, M. Garzarolli-Turnlackh n'est plus revenu, ou du moins n'a plus rien ajouté à la description très sommaire qu'il avait faite de ce composé.

Les choses en étaient là lorsque j'ai repris l'étude de ce corps, à la fin de l'an dernier.

(*) *Liebig's Annalen der Chemie,* t. CCIX, p. 77 (année 1881).

(**) Garzarolli-Turnlackh, *loc. cit.,* p. 63.

(***) M. Delacre, *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique,* t. XIII (3), p. 235 (année 1887).

PRÉPARATION DE L'ISOPROPANOL TRICHLORÉ.

L'*isopropanol trichloré* $Cl_3C - CH(OH) - CH_3$ se produit dans de bonnes conditions et sans difficultés sérieuses par la réaction du chloral anhydre sur l'*iodo-* ou le *bromo-méthylure de magnésium* $H_3C - Mg - X$ au sein de l'éther anhydre. Je crois inutile de revenir sur la préparation bien connue du chloral anhydre et celle du composé méthylo-magnésien. La solution de celui-ci dans l'éther anhydre est renfermée dans un ballon mis en communication avec un appareil à reflux. On y fait arriver, par petites portions successives, la solution du chloral anhydre dans deux ou trois fois son volume d'éther également anhydre.

J'ai employé à l'origine et j'ai continué à employer, vu qu'il est plus facile à manier que le bromure, surtout l'iodure de méthyle $H_3C - I$, éb. 42°. Pour une molécule de cet éther, il faut une molécule de chloral anhydre.

La réaction se fait intensément et avec énergie : au commencement, chaque goutte de la solution éthérée du chloral tombant dans la solution du composé méthylo-magnésien fait entendre un sifflement et il se forme tout autour des nuages blancs. En même temps la masse liquide s'échauffe. Il est nécessaire d'agiter et de refroidir l'appareil en le plongeant dans l'eau froide. L'introduction de la solution chlor-aldéhydique étant terminée, on laisse les choses en place pendant quelques heures, puis on chauffe modérément au bain d'eau pendant une heure au plus. Cette partie de l'opération doit être surveillée avec soin ; il arrive que des quantités assez

notables de corps en présence n'ont pas réagi; celles-ci venant à entrer en action à la faveur de l'échauffement, il peut se faire que la réaction devienne trop violente et que la masse liquide entre en une ébullition trop rapide. Un refroidissement énergique est nécessaire pour maintenir l'opération dans un calme relatif. Alors que les choses se sont passées régulièrement, une croûte cristalline, blanche, adhère à la paroi interne du ballon. Par l'échauffement, il se développe une coloration rouge de plus en plus foncée.

Alors qu'il est totalement refroidi, le produit renfermé dans le ballon est introduit, par portions successives, dans de l'eau glacée acidulée par de l'acide sulfurique ou de l'acide acétique.

La réaction se faisant selon l'équation

$$Cl_3C - CHO + CH_3 - Mg \cdot I = Cl_3C - \underset{\underset{CH_3}{|}}{CH} \cdot O \quad Mg \cdot I$$

son produit constitue dans le ballon où s'exécute l'opération un corps cristallin. L'eau le décompose comme suit :

$$2\left(Cl_3C - CH < \begin{matrix} O \cdot Mg \cdot I \\ CH_3 \end{matrix}\right) + 2H_2O = 2Cl_3C \cdot CH(OH) \cdot CH_3$$

$$+ Mg(OH)_2 + MgI_2 \ (*).$$

(*) On ajoute finalement au chloral le système $H - CH_3$:

$$CCl_3 - CH = O \qquad CCl_3 - CH(OH) - CH_3.$$

Dans d'autres synthèses d'alcools secondaires trichlorés où l'on part d'aldéhydes comme telles, on ajoute, au contraire, le système chloro-

La magnésie se dissout à l'aide de l'acide présent. Cette décomposition par l'eau n'est pas sans échauffer notablement la masse; aussi devient-elle, par suite de la mise en liberté d'iode, fort obscure. On la décolore à l'aide d'une solution de sulfite monosodique. La couche éthérée surnageante renferme l'isopropanol trichloré formé; il en reste toutefois une certaine quantité en dissolution dans le liquide aqueux : il vaut la peine de l'en retirer à l'aide de l'éther.

Après expulsion de l'éther par la distillation et décoloration nouvelle du produit brut restant, alors que de l'iode a encore été mis en liberté, il est avantageux de distiller la masse dans un courant de vapeur d'eau. On obtient ainsi un produit d'un plus bel aspect. Le produit liquide ainsi obtenu est purifié par des distillations fractionnées sous pression réduite. Il cristallise aisément par le refroidissement.

Le rendement de l'opération est d'environ 40 % du rendement théorique.

La mise en liberté de l'iode et la formation de produits goudronneux peuvent être rattachées, vraisemblablement, à la décomposition des composés iodés, formés à la suite de la réaction du chloral et de l'isopropanol trichloré lui-même sur le côté —Mg.I du produit immé-

---

formique $H-CCl_3$. C'est le cas dans la formation du *phényl-éthanol* $C_6H_5-CH(OH)-CCl_3$:

$$C_6H_5 \cdot CH = O + HCCl_3 = C_6H_5 - CH(OH) - CCl_3 \text{ [1]}.$$

C'est un cas d'application intéressant de la belle réaction de Willgerodt, synthèse du *triméthyl-carbinol trichloré* $(CH_3)_2-C(OH)-CCl_3$ par la fixation de $HCCl_3$ sur l'acétone $(CH_3)_2 \cdot CO$ en présence de KOH.

[1] J. Jocicz, *Chemischer Central-Blatt*, 1897, t. I, p. 1013.

diat de l'addition du composé organo-magnésien. Quoi qu'il en soit, on voit que le rendement final est inférieur à ce qu'il est dans d'autres opérations de ce genre.

Cela étant, je pouvais espérer de meilleurs résultats et une purification plus facile du produit en employant, au lieu de l'iodure, le bromure de méthyle que le commerce fournit à un prix si avantageux. J'ai constaté, en effet, que la réaction s'accomplit aussi dans de bonnes conditions, et même dans de meilleures conditions, avec le bromure de méthyle, mais la grande volatilité de ce produit, qui bout à + 5°, en rend l'emploi difficile à certains égards, et en somme je n'ai pas obtenu, n'ayant pas su non plus éviter la formation des masses goudronneuses, un meilleur rendement final qu'avec l'iodure.

DESCRIPTION ET ANALYSE.

L'*isopropanol trichloré 1.1.1* constitue un corps solide, cristallin, incolore, d'une odeur camphrée très prononcée, comme, en général, les dérivés fortement chlorés de cette nature, et d'une saveur brûlante.

Il fond à 50° en tube capillaire et bout sans décomposition à 161°8 sous la pression de 774 millimètres, toute la colonne mercurielle dans la vapeur.

Ce corps possède dès la température ordinaire une tension notable de vapeur; aussi, conservé à l'air libre, disparaît-il rapidement. Il est nécessaire de le conserver dans des flacons bouchés. Voici quelques données qui préciseront cette propriété : introduit dans le vide barométrique, la pression étant 763 millimètres et la température extérieure 19°, sa vapeur saturée a déterminé une dépression de 3 millimètres; celle-ci a atteint 18 millimètres à 56° dans la vapeur de l'acétone et 115 millimètres à 100° dans la vapeur d'eau.

La détermination de la densité de la vapeur de ce corps a été faite de diverses façons :

a) Selon la méthode de V. Meyer, à la température d'ébullition de la nitrobenzine 205°.

Poids de la substance	0gr0310
Volume du gaz expulsé.	5cc8
Température	19°
Pression barométrique.	761mm

d'où l'on déduit 5.92, alors que la densité théorique correspondant à $Cl_3C - CH(OH) - CH_3$ est 5.65.

b) Selon la méthode cryoscopique dans la benzine.

	Trouvé.	Calculé.
Poids moléculaire. . . .	167.9 164.7	163.5 (*)

L'isopropanol trichloré est peu soluble dans l'eau, au sein de laquelle il entre en fusion en constituant une couche huileuse inférieure. Il en est de même dans

---

(*) Une détermination de la densité de vapeur selon la méthode de Hofmann, dans la vapeur de l'aniline à 185°, a donné un résultat peu satisfaisant.

En voici les données :

Substance	0gr0950
Pression barométrique	777mm
Mercure soulevé	600mm
Tension de la vapeur.	177mm
Volume de la vapeur.	85cc8
Température	185°

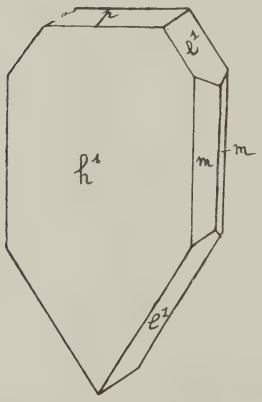
ce qui correspond à 6.14, la densité théorique étant 5.65.

La dissociation moléculaire n'était sans doute pas encore complète dans ces conditions.

l'ammoniaque aqueuse. De ce liquide surfondu, il est susceptible de cristalliser, au cours du temps, en cristaux considérables et bien conformés.

Ce corps se dissout aisément dans la plupart des dissolvants ordinaires, les alcools méthylique, éthylique, etc., la glycérine, l'éther, l'acétone, le bisulfure de carbone, les hydrocarbures, tels que la pétroléine, la benzine, etc., le chloroforme, etc. On peut l'obtenir en beaux cristaux par évaporation spontanée lente, à la température de 6° à 10°, de diverses de ces dissolutions, telles que celles de l'éther, du chloroforme, de l'acétone, etc.

J'ai fait moi-même l'étude cristallographique de ce composé, étude qu'a bien voulu faire aussi M. le professeur F. Kaisin. Voici la note qu'il m'a remise sur cet objet; en l'insérant dans mon mémoire, j'aime à lui exprimer mes bien vifs remerciements.



« Ces cristaux appartiennent au système monoclinique; ils présentent des formes hémimorphiques (classe somatique de Groth) se rapprochant beaucoup des formes du tétrathionate de potassium décrit par M. Fock (*).

$h^1 = (100)$
$m = (110)$
$p = (001)$
$e^1 = (011)$

(*) Fock, in Groth, *Physikalische Krystallographie*, p. 357, fig. 207 (3e édition).

» Ils présentent un clivage imparfait suivant $g^1 = (010)$.

» Le plan des axes optiques est g^1.

» La face h^1 montre en lumière convergente l'image » d'un axe. »

L'isopropanol trichloré $Cl_3C - CH(OH) - CH_3$ possède dans sa molécule un atome de carbone *asymétrique*, comme l'acide lactique ordinaire et ses dérivés. Je pouvais m'attendre à ce qu'il présentât l'hémiédrie dissymétrique dans ses cristaux et le pouvoir rotatoire dans ses solutions. L'examen que j'ai fait des cristaux n'a révélé aucune différence dans leur configuration, et l'essai des solutions de ce corps soit dans l'eau, soit dans l'éther, à l'aide du *polaristrobomètre* à franges de Wild, n'a révélé aucun indice de pouvoir rotatoire. Il y a lieu de croire que ce composé, comme en général les composés artificiels, produits de synthèses chimiques, est constitué des deux variétés, droite et gauche. Il n'a pas été en mon pouvoir d'en opérer la séparation ou de détruire l'une des deux variétés.

L'analyse de ce composé quant au chlore a donné les résultats suivants :

	Trouvé.		
	I.	II.	Calculé.
Chlore % . . .	65.61	64.55	65.15

Le chlore a été transformé en chlorure sodique par l'éthylate sodique, en chauffant en vase clos.

PROPRIÉTÉS CHIMIQUES ET DÉRIVÉS.

L'isopropanol trichloré 1.1.1 renferme les trois composants $- CH_3$, $- CCl_3$ et $> C - OH$, auxquels peuvent se

rattacher les propriétés et les dérivés de ce corps. C'est le composant alcool > CH (OH) qui a principalement fait l'objet de mon attention et de mes recherches.

A. — Dérivés éthérés.

a) *Acétate d'isopropyle trichloré.* $CCl_3 - CH(O.C_2H_3O) - CH_3$. Il résulte de l'action du chlorure d'acétyle sur l'alcool lui-même. On emploie ces deux corps en quantités équimoléculaires.

L'alcool solide se dissout d'abord dans le chlorure acide : le thermomètre marque alors un refroidissement d'au moins 12°.

La réaction commence dès la température ordinaire : on l'active par un léger échauffement. Alors que la cessation du dégagement de gaz acide HCl indique que la réaction est terminée, on peut soumettre le produit liquide au traitement ordinaire, lavage à l'eau tenant en dissolution du carbonate monosodique et dessiccation par $CaCl_2$ ou P_2O_5, etc.; il est plus simple et plus expéditif de distiller directement et immédiatement, la purification de l'éther obtenu étant des plus faciles à cause de l'élévation de son point d'ébullition.

L'*acétate d'isopropanol trichloré* constitue un beau liquide incolore, d'une forte odeur rappelant celle de l'éther acétique, d'une saveur amère mais non brûlante.

Sa densité à l'état liquide est à 15°, par rapport à l'eau à la même température, 1.353.

Il bout sans décomposition sous la pression de 766 millimètres à 180°-181°, toute la colonne mercurielle dans la vapeur.

Sa densité de vapeur a été déterminée par la méthode de Meyer, dans la vapeur de la nitrobenzine.

Poids de la substance	0gr1089
Volume d'air expulsé	13cc3
Pression barométrique.	758mm
Température de l'eau	17°5

Ces données conduisent à 6.9. La densité calculée est 7.12.

Les déterminations cryoscopiques du poids moléculaire dans la benzine ont donné le résultat suivant :

	Trouvé.	Calculé.
Poids moléculaire	205.2 201.6	205.5

Son indice de réfraction dans l'appareil de Pulfrich a été trouvé égal à 1.46017, ce qui conduit au pouvoir réfringent moléculaire 41.62, alors que le calcul correspond à 41.66.

Ce corps se congèle aisément dans un mélange réfrigérant énergique en cristallisant. Son point de fusion est à 8° au-dessus de 0°.

Il est insoluble dans l'eau, mais il est soluble dans tous les dissolvants ordinaires, alcools, éther, chloroforme, benzine, etc.

Le dosage du chlore, transformé en chlorure par l'action de l'éthylate sodique en solution alcoolique à chaud, a fourni 52.06 %, alors que la théorie correspond à 51.82 %.

Étant donnée la formule de structure de ce composé,

$$\begin{matrix} Cl_3C \\ H_3C \end{matrix} > CH - O \cdot CO - CH_3,$$

on remarquera que sa molécule renferme trois groupements hydrocarbonés, et notamment deux groupements *méthyle* H_3C - inégalement placés vis-à-vis de l'oxygène. Cette circonstance donne de l'intérêt à l'action du chlore sur cet éther. Je regrette de n'avoir pas eu le temps de faire cette recherche expérimentale; j'espère être à même d'y revenir dans la suite.

b) *Nitrate d'isopropyle trichloré.* $Cl_3C - CH(NO_3) - CH_3$. On sait avec quelle facilité se forment les éthers nitriques à l'aide du mélange nitro-sulfurique. Non seulement l'éthérification est aisée, quelles que soient d'ailleurs, dans la plupart des cas, la fonction ou les fonctions autres exercées par le composé examiné, mais en général elle est complète, quel que soit le nombre d'hydroxyles alcooliques. M. Louis Henry a fait ressortir à diverses reprises l'importance de l'acide azotique pour la caractéristique et la détermination de l'extension de la fonction *alcool* (*).

L'acide *nitro-sulfurique*, dont j'ai fait usage, résulte du mélange à volumes égaux des deux acides, nitrique et sulfurique. L'échauffement et la stabilité du complexe formé montrent suffisamment que les deux acides primitifs ont fait plus que se dissoudre mutuellement, et se sont chimiquement associés.

(*) Voir notamment : *Recherches sur les dérivés éthérés des alcools et des acides polyatomiques.* — § I. *Sur les éthers nitriques des glycols.* § II. *Sur les éthers nitriques des acides-alcools,* dans les ANNALES DE CHIMIE ET DE PHYSIQUE, 4e sér., t. XXVII (1872) et t. XXVIII (1873).

La préparation de ce dérivé nitrique est des plus aisées, car on n'a pas à craindre l'oxydation, le caractère alcool étant singulièrement affaibli dans l'isopropanol trichloré, comme je le ferai voir plus loin. On introduit par portions successives l'alcool dans le mélange nitro-sulfurique en excès et l'on agite. L'éther nitrique formé constitue une couche liquide surnageante. Il est bon de renouveler cette manœuvre à diverses reprises et de laisser les choses en place quelque temps, l'éthérification ne se faisant pas ici avec la rapidité qu'elle met à s'effectuer dans la généralité des cas.

L'éther nitrique formé a été lavé à l'eau et desséché sur du chlorure de calcium. Il ne peut être question de soumettre à la distillation un corps de cette nature.

Le *nitrate d'isopropyle trichloré 1.1.1* constitue un liquide incolore ou faiblement jaunâtre, sans odeur appréciable, ayant pour densité à l'état liquide 1.499 à la température de 13°.

La détermination cryoscopique de son poids moléculaire dans la benzine a conduit aux chiffres 200.6 et 202.5, alors que la formule $Cl_3C - CH(NO_3) - CH_3$ correspond à 208.5.

Son indice de réfraction est 1.47892, d'où l'on déduit comme pouvoir réfringent moléculaire 39.44, alors que la théorie correspond à 38.93.

Chauffé, ce produit se décompose en dégageant des vapeurs nitreuses et chlorhydriques.

J'ai trouvé dans ce composé 49.40 % de chlore, alors que la quantité calculée est 51.08. Sans doute que le produit, simplement desséché sur $CaCl_2$, était encore humide. Il eût fallu l'agiter avec quelques flocons de P_2O_5.

c) Je tenais à obtenir le *benzoate d'isopropyle trichloré*

$Cl_3C - CH(O.CO.C_6H_5) - CH_3$. Cet éther devant être un corps solide, il était intéressant d'en connaître le point de fusion. J'ai vainement tenté de le faire par la réaction du *chlorure de benzoyle*, en présence du carbonate bisodique ou de la soude caustique; même après avoir chauffé au bain-marie, je n'ai obtenu que de l'acide benzoïque. Je rappellerai à cette occasion l'instabilité relative et le dédoublement facile du *benzoate d'isopropyle* $(H_3C)_2 - CH(O.CO.C_6H_5)$ en propylène $CH_2 = CH - CH_3$ et acide benzoïque, sous l'action de la chaleur.

d) J'ai vainement tenté aussi d'obtenir les éthers *chlorhydrique* $CCl_3 - CHCl - CH_3$ et *bromhydrique* $CCl_3 - CHBr - CH_3$ de l'isopropanol trichloré. Des quantités de matière assez notables ont été dépensées inutilement à ces essais infructueux. Voici quelques détails sur les opérations diverses qui ont été faites dans ce but.

En ce qui concerne l'*éther chlorhydrique* $CCl_3 - CHCl - CH_3$, il n'y avait rien à attendre de l'action de l'acide chlorhydrique lui-même, après ce que j'avais constaté en ce qui concerne l'acide bromhydrique, action que je rapporterai plus loin. Je me suis adressé aux deux chlorures du phosphore, PCl_3 et PCl_5, et au chlorure de thionyle $SOCl_2$.

Quant au *pentachlorure de phosphore*, j'ai exécuté cette réaction par deux fois :

a) 15 grammes d'isopropanol trichloré et 20 grammes de PCl_5.

b) 20 grammes de composé alcoolique et 25 grammes de PCl_5.

La réaction s'établit déjà à froid, il se dégage du gaz acide HCl, qui fait mousser la masse. On chauffe légèrement. La masse est traitée par l'eau; on en entraîne par

un courant de vapeur le dérivé chlorhydrique $CCl_3 - CHCl - CH_3$ qui a pu se former. La quantité en est très faible; après dessiccation, cette petite portion de liquide a bouilli sans point fixe de 100° à 200°. La plus grande partie de la masse reste dans le ballon sous forme d'une masse jaunâtre, très épaisse, qui ne cristallise ni par le refroidissement ni par la dessiccation sur H_2SO_4. Ce sont sans doute des phosphate et chloro-phosphates résultant de la réaction de $OPCl_3$ sur le propanol trichloré.

J'ai alors essayé l'action du *trichlorure de phosphore*, et j'ai soumis à un léger échauffement un mélange de 2 molécules de PCl_3 avec 3 molécules de l'alcool trichloré, proportion que l'on emploie habituellement dans le but de faire, par cette voie, des éthers chlorhydriques. Il se dégage de l'acide chlorhydrique, et de la distillation du produit brut de la réaction, j'ai retiré un liquide passant vers 110° et un autre vers 225°-230°. Je n'ai pas eu assez de substance pour continuer jusqu'au bout l'examen des produits de cette réaction.

Plus tard, j'ai encore fait agir le PCl_3 sur l'acétate d'isopropyle trichloré, à molécules égales

$$\begin{matrix} CCl_3 \\ CH_3 \end{matrix} > CH(O \cdot CO \cdot CH_3) + Cl_2PCl_3 = \begin{matrix} CCl_3 \\ CH_3 \end{matrix} > CHCl + CH_3 - COCl + OPCl_3$$

A côté d'une portion bouillant vers 100°-120° et renfermant du $POCl_3$, j'ai retiré beaucoup d'acétate non altéré.

J'ai eu recours en fin de compte au *chlorure de thionyle* $SOCl_2$. On sait que ce corps a été employé avantageusement pour obtenir certains éthers chlorhydriques (méthode de H. Mayer). 16 grammes d'isopropanol trichloré ont été mis en réaction avec 13 grammes de

chlorure de thionyle $SOCl_2$, dans un ballon d'environ 100 centimètres cubes, muni d'un réfrigérant ascendant. Un léger échauffement détermine la réaction ; il se dégage abondamment des gaz acides HCl et SO_2. Le dégagement de ceux-ci ayant cessé, le liquide a été distillé sous pression réduite et redistillé ultérieurement sous la pression ordinaire. De 100° à 160°, il passe peu de chose : la presque totalité a passé de 200° à 230° ; ce produit ne pouvait pas être l'éther cherché, car celui-ci doit bouillir plus bas que l'alcool lui-même. Ce liquide fume à l'air et réagit vivement avec l'eau en dégageant les gaz HCl et SO_2 ; de cette masse, il se dépose après quelque temps des cristaux de l'alcool isopropylique trichloré primitif. Je présume que ce composé représente une sorte d'éther chlorosulfureux de l'isopropanol,

$$\begin{array}{l} CCl_3 \\ | \\ CH - OH + ClSOCl \\ | \\ CH_3 \end{array} = HCl + H \cdot \begin{array}{l} CCl_3 \\ | \\ C - O(SOCl) \\ | \\ CH_3 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} CCl_3 \\ | \\ CH - O \cdot SOCl + HOH \\ | \\ CH_3 \end{array} = \begin{array}{l} CCl_3 \\ | \\ CH \cdot OH + HO \cdot SO \cdot Cl \\ | \\ CH_3 \end{array}$$

c'est-à-dire

$$HCl + SO_2.$$

L'aptitude à l'éthérification de HBr étant notablement plus grande que celle de HCl, j'avais espéré obtenir l'éther bromhydrique CCl_3 - CHBr - CH_3 par la réaction de l'acide HBr gazeux sur l'isopropanol trichloré. 10 grammes de celui-ci ont été consacrés à cet objet : on

y a fait arriver de l'acide HBr gazeux. Aucune réaction ne s'établit à froid. Alors l'alcool a été fondu et maintenu comme tel au bain-marie; très peu de HBr gazeux s'y dissout. Le passage du gaz a duré pendant trois quarts d'heure, sans que deux couches apparussent. L'alcool ainsi saturé de HBr a été enfermé dans un tube scellé et chauffé au bain d'eau pendant dix-sept heures, sans que le gaz HBr ait disparu.

Je reviendrai plus loin sur les conséquences à tirer de cette inertie d'un agent aussi puissant que HBr.

B. — Déshydratation.

L'isopropanol trichloré étant $CCl_3 - CH(OH) - CH_3$, sa déshydratation ne peut s'opérer qu'en un sens pour fournir l'*isopropylène trichloré* $CCl_3 - CH = CH_2$. Sous ce rapport, mes prévisions ont été entièrement justifiées. Cette déshydratation s'accomplit très nettement sous l'action de l'anhydride phosphorique P_2O_5.

L'alcool est mélangé avec un léger excès d'anhydride et chauffé dans un petit ballon au bain d'air ou au bain d'huile. La masse mousse passablement et il se dégage quelque peu de gaz HCl. En distillant sous pression raréfiée, on facilite l'évacuation du produit : celui-ci passe absolument clair dès l'origine. Une seule rectification suffit pour l'obtenir à l'état de pureté.

On a trouvé dans ce produit 73.36 % de chlore, alors que la formule $Cl_3C - CH = CH_2$ en demande 73.21 %.

Le *propylène trichloré* ainsi obtenu constitue un liquide limpide, mobile, incolore, d'une forte odeur aldéhydique. Sa densité à 13° est 1.359. Il se congèle sans difficulté, en cristallisant, dans un mélange de neige carbonique et d'éther. Il fond à - 30°.

Sous la pression de 757 millimètres il bout à 114°-115°, mais il se volatilise très rapidement, même à la température ordinaire.

Sa densité de vapeur a été déterminée par la méthode de V. Meyer, dans la vapeur d'aniline

Substance	0gr0138
Volume du gaz expulsé.	13cc9
Pression barométrique	759mm
Température de l'eau.	13°

d'où l'on déduit 4.96. La densité calculée est 5.05.

Son indice de réfraction déterminé dans l'appareil de Pülfrich a été trouvé égal à 1.47903, d'où l'on déduit, pour le pouvoir réfringent moléculaire, 30.14, alors que la théorie correspond à 30.35.

Ce corps complète la série de chloruration du propylène dans le composant - CH_3.

$H_2C = CH - CH_3$	Éb. − 50°2		
		+ 96°	
$H_2C = CH - CH_2Cl$	— + 46°		
		38°	
$H_2C = CH - CHCl_2$	— + 84°		
		31°	
$H_2C = CH - CCl_3$	— + 115°		

Il correspond au chlorure d'acryle $H_2C = CH - COCl$, de la même manière que le méthyl-chloroforme correspond au chlorure d'acétyle $CH_3 - COCl$.

$H_3C - CO\,Cl$	Éb. 51°	
		+ 24°
$H_3C - CCl_3$	— 75°	

$H_2C = CH - CO\,Cl$	Éb. 76°	
		+ 39°
$H_2C = CH - CCl_3$	— 115°	

En sa qualité de composé non saturé, le *propylène trichloré 1.1.1* jouit du pouvoir additionnel, notamment vis-à-vis des corps halogènes.

1° *Addition du chlore.* — Dans les conditions ordinaires, c'est-à-dire à froid et à la lumière diffuse, le chlore gazeux s'ajoute vivement au propylène trichloré, en le transformant en un composé solide et cristallin.

L'action du pentachlorure d'antimoine $SbCl_5$, qui renferme deux atomes de chlore d'une grande activité, ne m'a pas donné de résultats satisfaisants; il était d'ailleurs inutile de s'y arrêter, celle du chlore libre étant fort nette et beaucoup plus aisée.

Il résulte de là du *propane pentachloré* $C_3H_3Cl_5$, 1.1.1.2.3, auquel son origine et son mode de formation permettent d'assigner la formule suivante : $Cl_3C - CHCl - CH_2Cl$.

J'y ai trouvé 81.89 % de chlore, alors que la formule en demande 81.88.

Cristallisé de l'alcool chaud, par refroidissement, ce corps se présente sous forme de belles aiguilles incolores, d'une odeur camphrée.

Il fond en tube capillaire, sans manifester de traces de décomposition, à 179°-180°.

Son poids moléculaire, déterminé par la méthode cryoscopique dans la benzine, a été trouvé égal à 217.6 et 221.6. La formule $C_3H_3Cl_5$ correspond à 216.5.

2° *Addition du brome.* — Le brome, comme tel, s'ajoute vivement aussi, au propylène trichloré, à molécules égales. Il résulte de là le *propane trichloro-bibromé.*

On a trouvé dans ce produit 86.93 % de Cl et Br,

tout ensemble, alors que la formule $C_5H_3Cl_5Br_2$ correspond à 87.24.

Analogue à son congénère, il a sans nul doute une structure exprimée par la formule $Cl_3C - CHBr - CH_2Br$.

Cristallisé de l'alcool chaud, il constitue aussi un corps solide, cristallin, d'une agréable odeur camphrée. A l'état brut, et avant d'avoir été cristallisé dans l'alcool, ce corps est fort désagréable à manier à cause de son action irritante sur les muqueuses du nez et des yeux.

Il fond à 210°, en paraissant subir déjà une légère décomposition.

Son poids moléculaire, déterminé cryoscopiquement dans la benzine, a été trouvé égal à 314.8 et 308.8, alors que la théorie lui assigne 305.5.

C. — Oxydation.

En sa qualité d'alcool secondaire renfermant le composant > CH(OH), l'isopropanol trichloré devait pouvoir être transformé, par oxydation, en *acétone trichlorée* et ultérieurement dans les produits de la désagrégation carbonée de celle-ci. Je n'ai réussi qu'en partie à réaliser ces transformations : il ne m'a pas été possible d'obtenir l'*acétone trichlorée* 1.1.1, $Cl_3C - CO - CH_3$. De même que celle des hydracides halogénés, l'action des agents oxydants montre bien la différence considérable qui existe entre l'alcool *isopropylique* $H_3C - CH(OH) - CH_3$ et son dérivé *trichloré* 1.1.1, $Cl_3C - CH(OH) - CH_3$.

J'ai utilisé les deux agents oxydants classiques, le *mélange chromique* et l'*acide azotique*.

1° *Mélange chromique*. — L'attaque est fort difficile, tant à chaud qu'à froid, et la quantité d'acide formée

insignifiante. Voici le détail d'une opération que j'ai réalisée :

10 grammes d'isopropanol trichloré ont été mélangés avec la solution dans l'eau de 8 grammes d'acide H_2SO_4 et de 6 grammes de $K_2Cr_2O_7$.

Le mélange abandonné à la température ordinaire ne s'était pas encore modifié extérieurement après trente-six heures. Après avoir été chauffé pendant seize heures au bain d'eau vers 80°, il avait encore à peu près sa couleur primitive. Je l'ai alors fait bouillir pendant six heures environ dans un appareil à reflux. Il a pris alors une couleur verte. Le liquide recueilli par la distillation ne renfermait qu'une quantité d'acide organique insignifiante.

2° *Acide azotique.* — J'ai d'abord fait un essai avec le mélange des acides nitriques, concentré et ordinaire. A 10 grammes d'isopropanol trichloré ont été ajoutés 15 grammes d'acide azotique de cette sorte (5 de HNO_3 fumant et 10 d'acide commercial). A froid, aucune réaction ne se déclare. L'isopropanol trichloré, spontanément fondu, constitue au fond du liquide une couche insoluble. Après avoir chauffé pendant une journée au bain d'eau, vers 70°, et agité fréquemment, et même après avoir chauffé pendant trois à quatre heures à 100°, les choses sont restées dans le même état, du moins sans grand changement appréciable. La couche liquide inférieure était de l'alcool chloré non modifié : la supérieure, malgré son odeur piquante de chloro-picrine, ne renfermait qu'une insignifiante quantité d'acide organique.

J'ai alors répété l'expérience avec de l'acide nitrique

fumant. L'isopropanol trichloré s'y dissout. Le liquide a été chauffé jusqu'à une faible ébullition pendant cinq heures dans une cornue dont le col était dirigé vers le haut. Des vapeurs nitreuses se sont abondamment dégagées. Après leur cessation, et le liquide étant refroidi, j'ai saturé celui-ci par du carbonate potassique. Du résidu salin produit de l'évaporation de cette solution, l'alcool extrait un sel qui a cristallisé sous forme de longues aiguilles soyeuses, non déliquescentes, et qui, brûlées sur la lame de platine, laissent un résidu de chlorure potassique, précipitant la solution argentique. Ce sel est du *trichloro-acétate de potassium*, comme son analyse l'a démontré : $0^{gr}2055$ de ce sel après dessiccation ont fourni, par H_2SO_4, $0^{gr}089$ de sulfate bi-potassique K_2SO_4. Ce qui correspond à 43.73 °/₀ de sulfate potassique, alors que la formule $Cl_3C - CO(OK)$ en demande 43.17. L'acétate potassique correspond à 88.77 °/₀ de sulfate K_2SO_4.

Il résulte de là que l'oxydation s'est portée sur le composant $- CH_3$ pour le faire disparaître.

Des faits qui viennent d'être relatés, il y a une conclusion générale à tirer, c'est l'influence profonde exercée par le composant CCl_3 sur le composant voisin « *alcool secondaire* » $H.C - OH$. Cette influence consiste en un double fait :

1° *Affaiblissement dans l'intensité du caractère* ALCOOL. L'alcool *isopropylique* $H_3C - CH(OH) - CH_3$ s'éthérifie aisément par les acides HCl et HBr; il en est tout autrement de son dérivé trichloré $CCl_3 - CH(OH) - CH_3$, comme je l'ai fait voir.

Il en est de même de l'action de l'acide azotique; l'azotate d'isopropyle trichloré $Cl_3C - CH(NO_3) - CH_3$ est bien

loin de se former avec la même facilité, tant au point de vue de la rapidité que de l'énergie de la réaction, que l'azotate d'isopropyle lui-même.

Voici une indication numérique, — que je dois à l'obligeance de M. le professeur Paul Henry, — qui précise cet affaiblissement du caractère *alcool* dans l'isopropanol trichloré :

Des quantités équimoléculaires d'alcool trichloré et d'acide acétique $C_2H_4O_2$ ont été chauffées, en tubes scellés, à la température de 175°; après une heure, on a constaté, d'après la perte du titre de l'acide acétique, que 1.53 °/₀ des corps réagissants étaient éthérifiés. Cette proportion atteint 27.54 °/₀ pour l'alcool isopropylique dans les mêmes conditions.

Cette dépression de l'intensité du caractère alcool dans l'isopropanol trichloré me paraît, eu égard aux faits constatés avec les hydracides halogénés, assez notable pour me faire admettre que le composant $> CH(OH)$ se comporte à la façon d'une sorte d'acide. L'étude de l'action des bases hydroxylées sur ce composé serait, ce me semble, de nature à nous renseigner sur ce point.

2° *Diminution dans l'aptitude réactionnelle de* H *du composant* $> CH(OH)$.

L'hydrogène du composant alcool, fixé sur ce carbone, est éminemment oxydable dans l'alcool isopropylique, qui passe aisément à l'acétone $CH_3 - CO - CK_3$, celle-ci passant elle-même par le progrès de l'oxydation à des dérivés bi-carbonés.

On a vu précédemment quelle force de résistance oppose l'isopropanol trichloré à l'action du mélange chromique et de l'acide azotique.

J'avais espéré trouver dans l'action des alcalis caustiques sur cet alcool chloré, un agent fort net de désagrégation du noyau tricarboné. Il me semblait qu'il aurait dû se produire une rupture de ce noyau entre CCl_3 et CH - OH pour produire du chloroforme et de l'acétate potassique

$$\begin{array}{l} CCl_3 \\ | \\ CH(OH) + HOK \\ | \\ CH_3 \end{array} = HCCl_3 + \begin{array}{l} CH < \begin{array}{l} OH \\ OK \end{array} \\ | \\ CH_3 \end{array}$$

$$\begin{array}{l} HC < \begin{array}{l} OH \\ OK \end{array} \\ | \\ CH_3 \end{array} = \begin{array}{l} CO \cdot OK + \begin{array}{l} H \\ H \end{array} > \\ | \\ CH_3 \end{array}$$

L'action de la potasse caustique solide ou en solution concentrée dans l'eau est effectivement très énergique sur l'isopropanol trichloré, et il se dégage un gaz qui a, ce me semble, toutes les propriétés de l'hydrogène. Mais le manque de substance ne m'a pas permis d'examiner à fond les produits de cette opération.

L'isopropanol trichloré constitue une sorte de chlorure de l'acide lactique ordinaire, au même titre que le chloroforme H - CCl_3 en est un de l'acide formique

$$H \cdot CCl_3 \qquad HC \leqslant \begin{array}{l} O \\ OH \end{array}$$

et le méthyl-chloroforme de l'acide acétique

$$H_3C - CCl_3 \qquad H_3C - C \leqslant \begin{array}{l} O \\ OH \end{array}$$

$$H_3C - CH(OH) - CCl_3 \qquad H_3C - CH(OH) - C \leqslant \begin{array}{l} O \\ OH \end{array}$$

Il est probable que dans des conditions convenables, sous l'action des alcalis libres, l'isopropanol trichloré se transformera en acide lactique ordinaire de la même manière que le nitrile correspondant $CH_3 - CH(OH) - CN$ sous l'action des acides aqueux. Sous l'action des alcalis, ce nitrile lactique revient, comme l'on sait, à ses générateurs. C'est cette même action désagrégeante des alcalis que j'avais surtout en vue dans les essais que j'ai faits avec l'isopropanol trichloré, dans le but d'en obtenir du chloroforme.

APPENDICE.

DÉRIVÉS OXY-ALKYLÉS DU PROPYLÈNE BICHLORÉ.

$$Cl_2C = C - (O \cdot C_nH_{2n+1}) - CH_3.$$

Je m'étais proposé de compléter la série des dérivés de l'isopropanol trichloré, série qui est malheureusement restée moins longue que je ne l'avais espéré, par quelques-uns de ses éthers simples. Ne croyant pas possible de les obtenir en partant de l'alcool lui-même, j'avais cru y arriver en utilisant la réaction synthétique qui permet de passer des dérivés aldéhydiques à des éthers simples d'alcools secondaires.

On sait, en effet, que le système aldéhydique $HC < \begin{matrix} OC_2H_5 \\ Cl \end{matrix}$ par exemple, fournit avec les composés organo-zinciques un éther simple secondaire du genre $\begin{matrix} HC - O.C_2H_5 \\ C_nH_{2n+1}. \end{matrix}$

On sait de plus, à la suite des travaux de M. Lieben (*),

(*) *Liebig's Annalen*, etc., t. CLXVI, p. 220, année 1868.

que l'*éther bichloré* $\begin{array}{l} HC < \begin{array}{l} Cl \\ OC_2H_5 \end{array} \\ \quad | \\ H_2CCl \end{array}$ subit d'abord de préférence l'action d'un composé organo-zincique dans le chlore du composant aldéhydique $HC < \begin{array}{l} OC_2H_5 \\ Cl \end{array}$.

Cela étant, j'étais autorisé à penser que les éthers tétra-chlorés du genre

$$Cl_3C - CH < \begin{array}{l} OC_nH_{2n+1} \\ Cl \end{array}$$

se rapportant au chloral, me fourniraient, par voie synthétique, à l'aide des composés méthylo-métalliques $(H_3C)_n . X_n$, les éthers cherchés $CCl_3 - \begin{array}{c} H \\ | \\ C \\ | \\ CH_3 \end{array} - O . C_nH_{2n+1}$ de l'isopropanol trichloré.

A l'époque où nous sommes, il n'y avait plus à songer au zinc-méthyle $Zn(CH_3)_2$ dont l'emploi est si incommode; les composés méthylo-magnésiens $CH_3 - Mg - X$ (Br ou I) le remplacent avantageusement sous tous les rapports.

Quant à ces éthers *tétra-chlorés* $Cl_3C - CH < \begin{array}{l} OC_nH_{2n+1} \\ Cl \end{array}$ qui se rattachent au chloral, on les obtient aisément par la méthode de M. Louis Henry (*), réaction du pentachlorure de phosphore sur les alcoolates du chloral $CCl_3 - CH < \begin{array}{l} OC_nH_{2n+1} \\ OH \end{array}$.

(*) *Berichte der deutschen chemischen Gesellschaft*, t. IV, pp. 101 et 435, année 1871.

J'ai mis en réaction les trois éthers tétra-chlorés suivants :

$Cl_3C - CH < \begin{matrix} OCH_3 \\ Cl \end{matrix}$ Éb. 176°-177° sous la pression ordinaire.

$Cl_3C - CH < \begin{matrix} OC_2H_5 \\ Cl \end{matrix}$ Éb. 184°-185° sous la pression ordinaire.

$Cl_3C - CH < \begin{matrix} OC_3H_7 \\ Cl \end{matrix}$ (*) Éb. 199°-200° sous la pression ordinaire.

Tous ces composés en solution éthérée réagissent en effet très facilement avec le composé magnésien de l'iodure de méthyle, en solution éthérée aussi, et, comme il fallait le prévoir, la réaction se porte exclusivement sur le composant aldéhydique $- HC < \begin{matrix} Cl \\ OC_nH_{2n+1} \end{matrix}$, comme dans le cas du chloral lui-même. Mais la réaction est beaucoup moins énergique, la solution magnésienne peut être ajoutée en plus grande quantité à la fois et plus rapidement, et au lieu de refroidir, il est nécessaire, alors que toutes les masses des corps réagissants sont en présence, de chauffer au bain d'eau pendant quelque temps.

L'opération se termine comme d'ordinaire et comme je l'ai indiqué pour obtenir l'alcool isopropylique trichloré. Le produit formé, desséché par quelques flocons d'anhydride phosphorique, s'obtient aisément à l'état de pureté à la suite de quelques rectifications.

Les éthers ainsi obtenus sont des liquides distillables.

(*) $O - CH_2 - CH_2 - CH_3$.

J'étais autorisé à croire qu'ils correspondaient, eu égard à leur mode de formation, à la formule générale

$$Cl_3C - \underset{\underset{CH_3}{|}}{CH}(O \cdot C_nH_{2n+1})$$

Conformément à l'analogie, ils devaient avoir un point d'ébullition supérieur d'une dizaine de degrés environ à celui des composés correspondants de l'alcool éthylique trichloré $CCl_3 - CH_2(OH)$.

$CCl_3 - CH_2(OH)$	Éb. 151°
$CCl_3 - CH(OH) - CH_3$	— 161°8
$CCl_3 - CH_2(O \cdot CO \cdot CH_3)$	— 170°
$CCl_3 - CH \cdot (O \cdot CO \cdot CH_3) - CH_3$	— 180°-181°

Malheureusement, les dérivés éthérés $- CH_2(O \,.\, C_nH_{2n+1})$ de l'alcool éthylique trichloré ne sont pas connus.

Je n'ai pas tardé à constater que ma supposition quant à l'individualité de ces trois corps ne correspondait pas à la réalité. Leur analyse, leur densité de vapeur, leur pouvoir réfringent moléculaire, en désaccord avec les données théoriques correspondant à la formule supposée $CCl_3 - CH(O \,.\, C_nH_{2n+1}) - CH_3$, s'accordaient parfaitement avec la formule de corps de cette sorte, moins une molécule d'acide chlorhydrique. A ce titre, je devais les regarder comme des composés non saturés, doués par conséquent du pouvoir additionnel. C'est, en effet, ce que l'expérience a constaté en ce qui concerne le brome. Ainsi que le montre le dérivé propylique, que j'ai spécialement examiné sous ce rapport, cette addition se fait avec une grande énergie.

Ces corps répondant à la formule $Cl_3C\text{-}HC\text{-}O\,.\,C_nH_{2n+1}$ - CH_3 moins une molécule d'acide chlorhydrique, on doit se demander aux dépens de quel composant hydrogéné s'est formée cette molécule d'acide HCl. Sous ce rapport, deux formules de constitution sont possibles, à savoir :

$$a)\quad \begin{array}{l} Cl_2C \\ \| \\ C - O\cdot C_nH_{2n+1} \\ | \\ CH_3 \end{array}$$

qui rattache ces corps au *propylène bi-chloré*,

$$b)\quad \left.\begin{array}{l} Cl_2C \\ | \\ H_2C \end{array}\right\rangle CH - O\cdot C_nH_{2n+1},$$

qui les rattache au *triméthylène bi-chloré*.

Ce que l'on sait du mode de formation ordinaire des composés propyléniques à l'aide des composés propyliques et surtout l'intensité du pouvoir additionnel de ces composés éloigne cette seconde manière de voir. Je regarde donc ces composés comme se rattachant au *propylène bi-chloré* $Cl_2C = CH - CH_3$, dont ils sont les dérivés *oxy-alkylés* $= C(O\,.\,C_nH_{2n+1}) -$.

A quel moment de leur préparation s'est opéré ce départ de la molécule d'acide HCl aux dépens du composé synthétique originel $Cl_3C - CH(O\,.\,C_nH_{2n+1}) - CH_3$? Quoique j'aie constaté, lors des rectifications destinées à en assurer la pureté, un certain dégagement de gaz acide HCl, je ne me crois pas autorisé à rattacher la formation de celui-ci à l'action de la chaleur, déterminant une décomposition de cette sorte. Je remarque en effet que l'*acétate de l'isopropanol trichloré* $Cl_3C - CH(O\,.\,C_2H_5O)$

- CH_3 se volatilise, sans décomposition, à 180°-181° ; or le dérivé *oxy-éthylique* correspondant Cl_3C - $CH(O . C_2H_5)$ - CH_3 doit être notablement plus volatil (*) et certainement aussi plus stable.

La formation de ce dérivé propylénique et le départ de HCl sont donc antérieurs à la distillation ; peut-être faut-il les rattacher à la réaction du composant - CCl_3 sur l'iodure de magnésium formé, déterminant finalement l'élimination d'une molécule de HI. Quoi qu'il en soit, des études nouvelles sont nécessaires pour résoudre le problème.

Voici la description sommaire de ces trois dérivés du propylène bi-chloré :

a) *Méthyl-oxy-propylène bi-chloré.* $Cl_2C = C(O . CH_3)$ - CH_3.

On y a trouvé 50.42 % de chlore; la formule en demande 50.36. Le dérivé correspondant de l'isopropanol trichloré Cl_3C - $CH(O . CH_3)$ - CH_3 en renferme 60.01 %.

Liquide incolore, d'une odeur éthérée, piquante, d'une saveur brûlante. Insoluble dans l'eau, soluble dans l'alcool et l'éther. Sa densité à 20° est égale à 1.239. Il se congèle dans un mélange réfrigérant de neige carbonique et d'éther en une masse cristalline fondant à — 71° ou — 72°.

Il bout sans décomposition à 126°-127°, toute la colonne

(*) Voici les différences pour les composés isopropyliques proprement dits :

$CH_3 - CH(O \cdot C_2H_5) - CH_3$	Éb. 54°
$CH_3 - CH(O \cdot C_2H_5O) - CH_3$	Éb. 91°

mercurielle dans la vapeur, sous la pression de 750 millimètres.

Sa densité de vapeur déterminée dans la vapeur d'aniline a été trouvée égale à

4.34	(méthode de V. Meyer)
4.32	(méthode de Hofmann).

La densité calculée est 4.87 (*).

Son indice de réfraction a été trouvé égal à 1.4690; d'où l'on déduit pour le pouvoir réfringent moléculaire 31.67, alors que la théorie correspond à 31.69.

Pouvoir additionnel vis-à-vis du brome intense.

b) *Éthyl-oxy-propylène bi-chloré.* $Cl_2C = C(O.C_2H_5) - CH_3$.

Analogue au précédent par son aspect et ses propriétés extérieures. Densité à 20° égale à 1.179. Congélable en une masse cristalline fondant à — 80°-85°.

Bouillant sans décomposition, sous la pression de 763 millimètres, à 144°-146°, toute la colonne mercurielle dans la vapeur.

Densité de vapeur, selon la méthode de Meyer, dans la vapeur d'aniline, trouvée, 4.71; la densité calculée est 5.35. Celle du composé saturé $CCl_3 - CH(O.C_2H_5) - CH_3$ est 6.66.

Indice de réfraction égal à 1.46434, d'où pouvoir réfringent moléculaire 36.18; le calcul correspond à 36.29.

Pouvoir additionnel intense.

On a trouvé dans ce corps 45.48 % de chlore, alors

(*) La densité de vapeur du dérivé saturé $CCl_3 - CH(O \cdot CH_3) - CH_3$ devait être 6.16.

que la formule en demande 45.81. Au dérivé saturé correspondent 58.67 % de cet élément.

c) *Propyl-oxy-propylène bi-chloré.* $Cl_2C = C(O.C_3H_7(*)) - CH_3$.

Comme les précédents extérieurement. Odeur d'anis.

Congelable en une masse cristalline fondant vers — 90°. Densité à 20° égale à 1.134.

Distillable sans décomposition. Point d'ébullition à 163°-164°, pression de 764 millimètres, toute la colonne mercurielle dans la vapeur.

Densité de vapeur, selon la méthode de Meyer, dans la vapeur d'aniline, trouvée 5.35. La formule correspond à 5.83. Le dérivé saturé $CCl_3 - CH(O.C_3H_7)\ CH_3$ doit avoir pour densité de vapeur 7.10.

Indice de réfraction 1.45939, d'où pour le pouvoir réfringent moléculaire 40.75; calculé 40.89.

Pouvoir additionnel intense vis-à-vis du brome. Chaque goutte de cet élément qui tombe dans le composé bi-chloré s'y décolore instantanément et produit un sifflement, l'échauffement est intense et il faut refroidir; la saturation ne survient que par l'addition d'une molécule entière Br_2 de brome. Absence de dégagement de HBr.

On a trouvé dans ce corps 41.96 % de chlore; la théorie en demande 42.02. Le dérivé trichloré correspondant doit renfermer 51.81 % de cet élément.

NOTE. — Le *méthylate* et l'*alcoolate* de chloral $CCl_3 - CH(OH)(O.CH_3)$, $CCl_3 - CH(OH)(O.C_2H_5)$ sont déjà connus. Ce sont des corps solides. Quant au *propylate* $CCl_3 - CH(OH)O.C_3H_7$, je ne l'ai trouvé signalé nulle

(*) Normal et primaire.

part. C'est un liquide à la température ordinaire. L'éther tétrachloré qu'il forme avec PCl_5, $CCl_3 - CH < {Cl \atop O.C_3H_7}$ n'est pas non plus signalé dans les traités de chimie les plus récents. Il bout sous la pression de 764 millimètres à 199°-200°. Les dérivés correspondants, méthylique et éthylique $CCl_3 - CH < {Cl \atop O.CH_3}$ et $CCl_3 - CH < {Cl \atop O.C_2H_5}$, sont déjà décrits.

Un dérivé bi-chloré de l'éthylène, auquel on assigne pour formule $Cl_2C = CH(O.CH_3)$, produit de l'action de $CCl_2 = CHCl$ sur le méthylate de sodium, a été décrit comme un liquide bouillant à 109°-110° (*).

De plus, on a décrit le dérivé éthylique correspondant, $CCl_2 = CH(O.C_2H_5)$, comme un liquide bouillant à 144°-146°, produit de la décomposition par la chaleur de $CHCl_2 - CH < {Cl \atop O.C_2H_5}$ (**).

S'il en est ainsi, la méthylation détermine un résultat bien différent dans ces deux composés.

$Cl_2C = CH(O\ CH_3)$	Éb. 110°
$Cl_2C = C(O \cdot CH_3) - CH_3$	— 127°
$Cl_2C = CH\ (O \cdot C_2H_5)$	— 145°-146°
$Cl_2C = C(O \cdot C_2H_5) - CH_3$	— 144°-146°.

C'est au commencement de cette année que, après des recherches laborieuses sur le glycol isobutylénique, qui

---

(*) Voir Beilstein, t. I, p. 301.

(**) G. Oddo et E. Mamelli, *Gazette chimique italienne*, t. XXXIII, p. 380, année 1903.

m'avaient pris beaucoup de temps, je commençai, à l'invitation de M. le professeur Louis Henry, à m'occuper de l'isopropanol trichloré. Afin de m'assurer la possibilité de continuer mes recherches sans crainte d'être devancé, M. L. Henry jugea prudent d'insérer une courte notice préliminaire sur ce composé dans les *Comptes rendus* de l'Académie des sciences de France. Elle figure dans le numéro consacré à la séance du 25 janvier 1904.

Je m'occupai également à cette époque de l'action du composé magnésien de l'iodure et du bromure d'*éthyle* sur le chloral anhydre dans l'éther. Mais je renonçai plus tard à poursuivre mes recherches sur cet objet, après avoir lu dans la *Chemiker Zeitung*, n° 40, page 482 (18 mai 1904), le résumé d'un travail présenté sur cette même question, le 14 avril 1904, à l'Académie des sciences de Saint-Pétersbourg.

Mes recherches concernant l'isopropanol trichloré étaient fort avancées ou, pour mieux dire presque finies, lorsque dans le numéro du 15 juin 1904, page 1586, tome I de la *Chemisches Central-Blatt*, je lus que la « Farbenfabrik vorm. Friedr. Bayer et C° » avait obtenu, le 20 mai de cette année, du Gouvernement allemand, un brevet pour la fabrication de cet alcool trichloré par la réaction des composés magnésiens halo-méthyliques sur le chloral. Ce brevet est indiqué, ce me semble, comme ayant été demandé le 19 février 1903. J'ajouterai encore, pour compléter ces indications rétrospectives concernant la mise au jour de mon alcool trichloré, que dans le numéro du 14 octobre 1903 de la *Chemisches Central-Blatt*, page 899, l'alcool isopropylique trichloré — sans aucune indication de mode de préparation — est signalé, sous le nom d'*Isopral*, par le Dr Impens, comme un agent

narcotique plus actif et moins toxique que l'hydrate de chloral (*).

C'est sous ce nom que l'isopropanol trichloré figure aujourd'hui dans les catalogues des médicaments nouveaux. Il a fait l'objet des études de divers médecins allemands après le Dr Impens d'Elberfeld, à savoir de MM. les Drs Josef Mendl, Ransohoff, Emil Raimann, M. Urstein, qui en trouvent l'emploi fort avantageux.

Je ne crois pas pouvoir m'occuper ici de cet objet. Il est probable que l'*isopral* est destiné à fournir une belle carrière et à rendre de grands services à la façon du chloral. Aujourd'hui, l'isopropanol trichloré est fabriqué industriellement dans la fabrique d'Elberfeld placée sous la direction savante de M. le Dr Profr C. Duisberg et de M. le Dr Fr. Fischer. Je regrette de n'avoir connu cette circonstance que lorsque j'étais déjà à la fin de mes recherches : après avoir trouvé un mode de préparation facile de ce composé, je me serais dispensé de le faire moi-même à diverses reprises et j'aurais eu ainsi plus de temps à consacrer à son étude chimique.

Mes recherches ont été faites dans le laboratoire de chimie générale de l'Université catholique de Louvain, placé sous la direction de MM. les Profrs Louis Henry et Paul Henry. C'est assez dire tout ce que je dois à la bienveillante intervention de ces savants maîtres dans mon travail. J'aime à leur en exprimer ici toute ma reconnaissance.

(*) Voici le texte original : « *Isopral,* nennt Impens den Trichlorisopropylalkohol, Prismen, F. 49°, der als Schlafmittel Anwendung finden soll und mindestens zweimal so wirksam und dabei weniger giftig ist, als das Chloralhydrat ».

COMITÉ SECRET.

La Classe adopte définitivement la liste de présentation faite par la Section des sciences naturelles pour une place d'associé.

OUVRAGES PRÉSENTÉS.

Bijl (*E.*). Détermination de la latitude de l'Observatoire royal de Belgique, à Uccle, et recherche des variations apparentes de la latitude, à l'aide de l'observation d'étoiles fondamentales au cercle mural de Troughton. Bruxelles, 1904; in-4° (LXVII-342 p. et 3 pl.).

Bosmans (*H.*). Histoire des mathématiques et des sciences. Bruxelles, 1904; extr. in-8° (19 p.).

— La méthode d'Adrien Romain pour effectuer les calculs des grands nombres. Bruxelles, 1904; extr. in-8° (19 p.).

Monier (*Marcel*). Recherches expérimentales sur l'absorption des ferrugineux par le tube digestif. Anvers, 1904; in-8° (12 p.).

Van der Stricht (*O.*). La couche vitellogène et les mitochondries de l'œuf des Mammifères. Iéna, 1904; extr. in-8° (9 p.).

— La nouvelle méthode de Ramon y Cajal, son application à la rétine. Gand, 1904; extr. in-8° (10 p.).

— Signification de la couche vitellogène dans l'oocyte de Tégénaire. Toulouse, 1904; extr. in-8° (4 p.).

— La structure de l'œuf des Mammifères. Liége, 1904; in-8° (100 p., 3 pl.).

ACADÉMIE ROYALE DE BELGIQUE

BULLETIN

DE LA

CLASSE DES SCIENCES

1904. — N° 12.

CLASSE DES SCIENCES.

Séance du 5 décembre 1904.

M. Léon Fredericq, directeur.

M. le chevalier Edm. Marchal, secrétaire perpétuel.

Sont présents : MM. P. De Heen, *vice-directeur;* G. Dewalque, Éd. Van Beneden, C. Malaise, F. Folie, Ch. Van Bambeke, Alfr. Gilkinet, G. Van der Mensbrugghe, W. Spring, L. Henry, M. Mourlon, P. Mansion, C. Le Paige, Ch. Lagrange, J. Deruyts, J.-B. Masius, J. Neuberg, A. Lancaster, L. Errera, Julien Fraipont, A. Jorissen, P. Francotte, Paul Pelseneer, *membres;* Mce Delacre, Ch. de la Vallée Poussin, Aug. Lameere, Th. Durand et J. Massart, *correspondants.*

CORRESPONDANCE.

—

MM. les Recteurs des Universités de Bruxelles, Gand, Liége et Louvain et M. le Président du jury central ont fait savoir à la Classe qu'ils n'ont délivré en 1904 aucun diplôme de docteur en sciences chimiques avec la plus grande distinction.

— Conséquemment, le prix Stas ne sera pas décerné cette année.

Le Comité organisateur du Congrès international de botanique qui se tiendra à Vienne (Autriche), en juin 1905, demande à connaître le nom du délégué de l'Académie qui fera usage d'une voix lors des votes. M. L. Errera est désigné à cet effet. Le Comité demande en même temps les noms des botanistes qui font partie de la Classe des sciences.

— Sir Michael Foster, président de la deuxième session triennale de l'Association internationale des Académies, transmet les décisions suivantes prises à Francfort-sur-Main, les 10 et 11 octobre 1904, par la Commission de sismologie instituée par ladite Association :

« La Commission instituée à Londres par l'Association internationale des Académies reconnaît la nécessité d'établir, par le concours de tous les États, un service sismologique bien organisé, embrassant toute la surface terrestre.

La Commission s'est rangée à l'opinion que l'organisation sismologique fondée à Strasbourg avait qualité

pour se charger d'une partie de cette tâche, notamment de l'étude des questions qui présentent un intérêt physique général. Conformément à cette vue, la Commission recommande aux Académies associées d'agir auprès de leurs Gouvernements respectifs, afin que, pour l'étude de ces questions physiques, ils adhèrent à l'Association sismologique internationale. Néanmoins, son avis est qu'il est nécessaire que le service d'observations sismiques existant déjà ou à créer dans les divers États conserve dans chacun d'eux son champ d'activité propre.

Convaincue de l'importance qu'il y aurait à assurer l'uniformité aussi complète que possible des instruments, mais ne pouvant méconnaître les difficultés qui s'opposent à sa réalisation, la Commission est d'avis qu'il convient de laisser aux divers États la liberté du choix des appareils sismiques, et cela dans la pensée qu'avec le temps l'uniformité désirée s'établira d'elle-même.

En vue de faciliter l'adhésion des États non encore représentés dans l'Association sismologique, la Commission croit qu'il serait nécessaire d'introduire les modifications suivantes dans la convention de juillet 1903. Ces modifications une fois réalisées, le moment serait venu, pour les pays en question, d'entrer dans l'Association.

Article 3. Le premier paragraphe devrait être rédigé comme il suit :

« Chacun des États représentés à l'Association s'engage, soit par son Gouvernement, soit par une de ses corporations scientifiques, à fournir une cotisation annuelle en vue des objets de l'Association. »

Troisième paragraphe, à ajouter :

« Le paiement des cotisations se fait à la caisse du Bureau central. »

Article 6. Intercaler, entre le paragraphe 1 et le paragraphe 2 :

« Dans le cas où la cotisation serait exclusivement fournie par une corporation scientifique, le délégué de celle-ci aura voix délibérative, comme représentant de l'État correspondant. »

Article 11, quatrième paragraphe :

« La correspondance du Président avec les États participants se fait par le Secrétaire général avec le contre-seing du Président. »

Article 13, premier paragraphe :

« Le Bureau central est relié à une station sismologique principale déterminée, de telle sorte que le directeur de cette station soit en même temps directeur du Bureau central. Le choix de cette station est laissé à l'Assemblée générale. »

(La Commission, en proposant cette modification, n'a nullement le dessein de mettre en question le vote par lequel l'Assemblée générale de 1903 a désigné Strasbourg comme station centrale. Elle croit seulement qu'il n'est pas nécessaire de mentionner le nom de Strasbourg dans la convention.)

Deuxième paragraphe :

« Le Bureau central rassemble les rapports et observations qui lui sont envoyés par différents pays. Il en dégage les résultats généraux, dont il assure la publication. »

— Hommages d'ouvrages :

1° *Le Opere di Galilei,* volume XIV, offert par M. le Ministre de l'Instruction publique d'Italie ;

2° *Cérémonie commémorative à l'Institut botanique de Bruxelles, du 22 avril 1904* (présenté par Léo Errera);

3° *Paedologisch Jaarboek der stad Antwerpen*, 5e jaargang (présenté par M. Ch. Van Bambeke au nom du professeur Schuyten, avec une note qui figure ci-après);

4° *Traité de chimie minérale*, tome Ier, fasc. 2 : Métalloïdes, et tome II, fasc. 2 : Métaux; par Henri Moissan, associé, à Paris;

5° a) *Les lois de l'ergographie. Étude physiologique et mathématique; La dualité fonctionnelle du muscle;* par Mlle J. Ioteyko;

6° a) *Exploration of antarctic lands;* b) *Sur la variabilité de la température dans les régions antarctiques;* c) *Antarctic meteorology and international co-operation in Polar Work;* d) *Rapport sur les observations météorologiques horaires de l'Expédition antarctique belge en 1897-1899;* par Henryk Arctowski.

— Remerciements.

— La Classe renvoie à l'examen de MM. Plateau et Errera un travail intitulé : *Quelques expériences sur l'attraction des abeilles par les fleurs;* par Mlle Joséphine Wéry, étudiante à l'Institut botanique (Université de Bruxelles).

NOTE BIBLIOGRAPHIQUE.

J'ai l'honneur d'offrir à la Classe, au nom de M. le professeur Schuyten, directeur du service pédologique scolaire et du laboratoire pédologique d'Anvers, la cinquième année de son *Annuaire*.

Comme ses aînés, ce livre comprend deux parties distinctes : l'une consacrée à des travaux originaux, l'autre consistant en une revue bibliographique.

Les travaux originaux sont au nombre de cinq. En voici les titres :

1. *Sur les petits bonshommes dessinés par les écoliers d'Anvers,* par le Dr Schuyten.

2. *De Nederlandsche Schoolboeken*, par le Dr Schoute, d'Amsterdam.

3. *Nubes, le nuage intellectuel de la jeunesse scolaire normale*, par le Dr Schuyten.

4. *Sur l'accroissement de la force musculaire des écoliers à travers l'année scolaire*, par le même. Le précédent volume de l'*Annuaire* renferme une première communication sur ce sujet.

5. *Sur la droiterie et la gaucherie des enfants*, aussi par le Dr Schuyten.

La partie bibliographique renferme l'analyse de nombreux travaux, la plupart étrangers. Elle comprend les divisions suivantes : *a*) anthropométrie ; *b*) physiologie ; *c*) psychologie ; *d*) psychologie animale ; *e*) psycho-physiologie ; *f*) hygiène ; *g*) pédagogie normale ; *h*) pédagogie anormale ; *i*) pathologie.

Le Dr Schuyten a fondé, à Anvers, une société de pédologie qui fonctionne régulièrement depuis deux ans. Dans le courant de l'année 1903, elle a tenu six séances, dont le compte rendu occupe, avec la liste des membres de la société, les pages 233 à 257 du volume.

Ch. Van Bambeke.

PRIX MAILLY ET PRIX MELSENS.

La Classe entend la lecture des rapports des jurys qui ont examiné les ouvrages soumis pour ces concours. Elle se prononcera sur les conclusions de ces rapports dans sa séance du 15 courant.

RAPPORTS.

Sur la courbure des coniques et des cubiques gauches; par Cl. Servais.

Rapport de M. Neuberg, premier commissaire.

« Ce mémoire est fort intéressant, tant par la simplicité des méthodes employées que par la foule de résultats curieux déduits d'une seule et même formule respectivement pour les coniques et les cubiques gauches.

On sait que Chasles a fondé toute la théorie des coniques sur la constance du rapport anharmonique du faisceau projetant quatre points fixes de la courbe à partir d'un cinquième point variable sur cette ligne. M. Servais part de la même propriété pour établir sa formule fondamentale

$$\rho = \frac{1}{2}\frac{MA_1 . MB_1}{A_1B_1} : \frac{\sin ma . \sin mb}{\sin ab} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

La courbe est déterminée par quatre points A, B, C, M et la tangente m en M; ρ est le rayon de courbure en M, a et b désignent les droites CA, CB; B_1 et C_1 représentent les points ma, mb.

Toutes les expressions particulières de ρ déjà connues et un grand nombre d'autres inédites se déduisent avec une extrême facilité de la formule générale (1).

La majeure partie du travail qui nous est soumis, est consacrée à la torsion des cubiques gauches, courbes qui ont déjà fait l'objet de plusieurs mémoires de notre savant collègue de Gand. Soient τ le rayon de torsion en un point M d'une cubique, m et μ la tangente et le plan osculateur en ce point, α et β les plans osculateurs en deux autres points A, B de la courbe, s une sécante quelconque, A_1 et B_1 les points de rencontre de m avec les plans sA, sB; on a la formule fondamentale

$$\tau = \frac{1}{3}\frac{MA_1 . MB_1}{A_1B_1} : \frac{\sin \mu\alpha . \sin \mu\beta}{\sin \alpha\beta}, \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

qui résulte encore de la constance du rapport anharmonique du faisceau projetant quatre points fixes de la courbe à partir d'une sécante quelconque.

Elle comporte un grand nombre de conséquences des plus remarquables, par exemple celle-ci :

Si un hyperboloïde inscrit dans la développable osculatrice à une cubique gauche a pour génératrice la tangente en un point de la courbe, en ce point la courbure totale de l'hyperboloïde et la torsion de la cubique sont liées par la relation

$$9R_1R_2 = -\tau^2.$$

Nous proposons volontiers l'insertion du nouveau travail dans les *Mémoires* in-8° de l'Académie et le vote de remerciements à l'auteur pour ses intéressantes communications. »

M. Mansion, second commissaire, déclare se rallier à ces conclusions, qui sont adoptées par la Classe.

—

Application nouvelle des invariants intégraux (note II); par Th. De Donder.

Rapport de M. Ch.-J. de la Vallée Poussin, premier commissaire.

« Cette nouvelle note fait suite à celle que j'ai analysée dans le *Bulletin* du mois de juin 1904. M. De Donder se propose de déterminer le *nombre* des invariants de courbure et des paramètres différentiels distincts attachés à un ds^m quelconque. Ensuite il apporte une contribution à la réduction de la recherche des paramètres différentiels à celle des invariants absolus des formes algébriques.

L'auteur généralise des méthodes utilisées par MM. Zorawski et Haskins, ainsi que par M. Forsyth, dans des travaux récents. Il rencontre un certain nombre de résultats particuliers, qui paraissent nouveaux.

Le grand défaut de l'auteur est de paraître écrire plutôt pour son usage personnel que pour celui de ses lecteurs, ce qui rend généralement le contrôle de ses assertions très laborieux. Mais, sans tout contrôler, on reconnaîtra

que les méthodes de l'auteur méritent l'attention par elles-mêmes. J'ai donc l'honneur de proposer l'impression de cette note comme de la précédente. »

—

Rapport de M. Mansion, deuxième commissaire.

« Je me rallie aux conclusions du rapport du premier commissaire de l'Académie, parce que la note qui nous est soumise est la suite de celle dont la Classe a voté l'impression en juin dernier; mais je dois avouer qu'il m'a été impossible de comprendre ce nouveau travail de M. Th. De Donder; il est rédigé avec une brièveté excessive, et pour pouvoir l'étudier, il faudrait avoir sous les yeux les notes antérieures de l'auteur, dont la dernière n'est pas encore imprimée. »

M. J. Deruyts, troisième commissaire, déclare se rallier aux conclusions de ses savants confrères.

Ces conclusions sont adoptées par la Classe.

—

Sur quelques dérivés chlorés des méthylals;
par Léon Stappers.

Rapport de M. L. Henry, premier commissaire.

« M. Léon Stappers s'est proposé de faire et d'examiner les combinaisons formées par le *méthanal* $H_2C = O$ avec les dérivés chlorés des alcools propylique et isopropylique.

Dans le travail qu'il soumet à l'Académie, il fait connaître d'abord les oxydes de méthyle et d'isopropyle *mono-* et *bichlorés,*

$$H_2C < \begin{matrix} Cl \\ O.CH.(CH_3)_2 \end{matrix} \quad \text{et} \quad H_2C < \begin{matrix} Cl \\ O.CH < \begin{matrix} CH_2Cl, \\ CH_3 \end{matrix} \end{matrix}$$

produits de l'action de l'acide chlorhydrique gazeux sur la solution de l'alcool isopropylique ou de la monochlorhydrine propylénique $H_5C - CH(OH) - CH_2Cl$ dans le méthanal aqueux de 40 %.

Mais ce sont surtout les méthylals en C_5, chlorés, qui constituent la partie principale de son mémoire. Ces corps résultent de l'action du *tri-oxyméthylène* $(H_2C = O)_3$ sur les chlorhydrines iso-propyléniques et les dichlorhydrines glycériques.

Dans le nombre, je remarque principalement le *méthylal isopropylique tétrachloré* symétrique

$$H_2C \begin{cases} O - CH < \begin{matrix} CH_2Cl \\ CH_2Cl \end{matrix} \\ O - CH < \begin{matrix} CH_2Cl \\ CH_2Cl \end{matrix} \end{cases}$$

dérivé de la dichlorhydrine glycérique symétrique $ClCH_2 - CH(OH) - CH_2Cl$.

C'est un beau corps solide, fusible à 51° selon l'auteur, et susceptible de cristalliser en cristaux de grandes dimensions, vraiment magnifiques.

Je regrette que M. Stappers, qui a eu la bonne fortune d'appeler à l'existence ce produit d'un aspect si remarquable, n'ait pas eu l'idée — ou le temps peut-être — de faire les composés analogues, correspondants à la *dibromhydrine* $BrCH_2 - CH(OH) - CH_2Br$ et à la *chloro-*

bromhydrine glycérique symétriques $ClCH_2 - CH(OH) - CH_2Br$. Il serait résulté de là une série de trois corps, deux simples

$$H_2C \begin{cases} O - CH < \begin{matrix} CH_2Cl \\ CH_2Cl \end{matrix} \\ O - CH < \begin{matrix} CH_2Cl \\ CH_2Cl \end{matrix} \end{cases}$$

$$H_2C \begin{cases} O - CH < \begin{matrix} CH_2Br \\ CH_2Br \end{matrix} \\ O - CH < \begin{matrix} CH_2Br \\ CH_2Br \end{matrix} \end{cases}$$

et un mixte

$$H_2C \begin{cases} O - CH < \begin{matrix} CH_2Cl \\ CH_2Br \end{matrix} \\ O - CH < \begin{matrix} CH_2Cl \\ CH_2Br \end{matrix} \end{cases}$$

intéressants au point de vue de leurs relations de fusibilité et de forme cristallographique (*).

Quoi qu'il en soit, et dans son état actuel, le travail de M. Stappers constitue une contribution d'un intérêt réel à l'histoire des combinaisons en C_1 et en C_3.

J'ai l'honneur de proposer à la Classe d'insérer le mémoire de M. Stappers dans son *Bulletin*. »

M. Spring, second commissaire, déclare se rallier bien volontiers à la conclusion de son savant confrère.

Cette conclusion est adoptée par la Classe.

(*) La série est complète aujourd'hui et fera l'objet d'une prochaine communication. L. H.

—

1. *Sur le tétrahydrate de chlorure de cobalt.* — 2. *Synthèse d'un sulfate double de sodium et d'uranyle par le procédé de M. W. Spring;* par le Dr W. Oechsner de Coninck.

Rapport de M. W. Spring.

« Dans la première de ces notes, l'auteur confirme l'existence du chlorure de cobalt tétrahydraté, existence qui avait été mise en doute; dans la seconde note, il montre qu'en broyant, à sec, du sulfate acide de sodium avec de l'hydrate uranique, il se forme du sulfate de sodium et d'uranyle cristallisant avec 3 molécules d'eau.

J'ai l'honneur de proposer l'insertion de ces deux notes dans le *Bulletin* de la séance. » — Adopté.

—

Les Léonides observées à Boitsfort en 1904;
par Ch. Fiévez.

Rapport de M. Terby.

« La communication de M. Fiévez et ma note concernant le même phénomène observé à Louvain s'accordent mieux qu'elles ne le paraissent au premier abord. M. Fiévez conclut légitimement de ses observations que le phénomène serait en décroissance depuis 1903 et que son activité aurait été plus grande le matin du 16, comme en 1903. Notre impression, à Louvain, au contraire, a été que les météores étaient plus nombreux que l'année dernière et que le maximum s'était produit cette fois le matin du 15. Tout s'explique

si l'on considère que M. Fiévez n'a pas prolongé ses observations le matin du 15 au delà de 1 h. 20 m. Quant au déplacement du maximum, du 16 au 15, relativement à l'année dernière, nous sommes porté à le considérer comme une apparence due uniquement à l'intercalation du 29 février dans le calendrier de 1904.

Je pense qu'il y a utilité à insérer au *Bulletin* la note de M. Fiévez. » — Adopté.

COMMUNICATIONS ET LECTURES.

Périodicité semi-diurne des mouvements apparents d'un pendule libre dans le premier vertical; par F. Folie, membre de l'Académie.

Dans ma dernière note, je croyais avoir péremptoirement réfuté l'objection qu'un savant m'avait faite en m'affirmant qu'il trouvait dans mes diagrammes un caractère plutôt diurne que semi-diurne.

Comme cette objection m'a été présentée à nouveau depuis lors, je crois utile d'y répondre d'une manière définitive.

Lorsque les nombres qui expriment les résultats d'une série d'observations manifestent une période diurne, il est clair que cette périodicité disparaîtra dans les moyennes de ces nombres pris deux à deux à douze heures d'intervalle.

Ainsi en sera-t-il des températures, des hauteurs barométriques, des hauteurs des astres, etc., relevées d'heure en heure et sommées à douze heures d'intervalle.

Dans ces sommes, l'influence de la cause à laquelle est dû le caractère diurne du phénomène sera éliminée.

Mais si la période du phénomène, au lieu d'être diurne, est d'un demi-jour, la même période se manifestera encore dans ces sommes.

C'est ce critérium que j'ai appliqué aux observations de mon pendule faites du 13 au 16 août dernier (1).

J'ai pris les moyennes des observations faites à douze heures d'intervalle et les ai consignées dans le tableau ci-dessous, avec, en regard, les heures moyennes correspondantes, dont l'origine est le 13 août à 0 heure.

13 août	14 heures	-6 millim.	24+16 heures	4.5 millim.
	15	-6.5	17	5.5
	16	-5	18	7.5
	17	-1.5	19	9.5
	18	+1	20	11.5
	19	2.5	21	12
	20	2.5	22	9
	21	3	23	7.5
	22	2.5	48+0	5
	23	2	1	2.5

(1) *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique* (Classe des sciences), n° 8, pp. 941 à 949, 1904.

24+0	1.5	2	2
1	1.5	3	0.5
2	0.5	4	3
3	-1	5	4.5
4	1.5	6	5
5	5.5	7	6
6	8.5	8	8
7	12.5	9	10.5
8	9.5	10	7.5
9	10	11	5
10	8.5	12	2.5
11	8	13	0
12	7	14	-2.5
13	3.5	15	-4
14	2.5	16	-4
15	3		

On voit que les minima se présentent aux heures :

	15		27		38		51
intervalles :		12		11		13	

les maxima aux heures :

	21		31		45		57
intervalles :		10		14		12	

La moyenne des intervalles est exactement de six heures.

Les intervalles entre un minimum et le maximum suivant sont :

6	4	7	6

dont la moyenne est six heures moins un quart.

La périodicité semi-diurne est beaucoup mieux accusée dans ces moyennes que dans les observations originales. Cela tient à ce que l'influence des déviations périodiques de la verticale, qui se manifestent dans ces dernières, en est presque complètement éliminée.

Cette seconde démonstration est, je pense, tout à fait péremptoire.

Au sujet des déviations périodiques de la verticale, je ferai remarquer qu'elles produisent des *mouvements réels* du pendule; tandis que ceux qui sont consignés dans le tableau ci-dessus, dont j'ai éliminé ces déviations périodiques, sont purement *apparents* et proviennent des variations semi-diurnes de la vitesse de l'écorce terrestre.

En d'autres termes, abstraction faite des déviations de la verticale, le pendule reste fixe, et nous lui attribuons les mouvements que nous éprouvons nous-mêmes sur l'écorce terrestre à laquelle nous sommes fixés, de même que nous attribuons au ciel le mouvement de rotation de la Terre.

Or, dans la théorie de ce mouvement, deux termes seulement ont une période semi-diurne : celui de la nutation diurne et celui des variations périodiques de la vitesse.

Ces deux termes ont le même coefficient; si donc l'un existe, l'autre existe également.

Notre pendule démontre la variabilité du mouvement de la Terre (écorce), il démontre donc l'existence de la nutation diurne.

Mais, de plus, il a une signification géophysique très importante : Le coefficient de nos deux variations est *tout à fait insignifiant* pour la Terre entière; il ne peut

être sensible que pour son écorce. Et encore ne peut-il produire d'effets sensibles que si le mouvement de celle-ci est à quelque degré indépendant de celui du noyau.

Or ces effets existent, l'indépendance existe donc, et pour cela, il faut que l'écorce repose sur une couche plus ou moins fluide.

Et ainsi se trouve *physiquement* établie l'hypothèse sur laquelle j'ai fondé, il y a plus de vingt ans, la théorie de la nutation diurne, à savoir que :

« La Terre est constituée par un noyau central plus ou moins fluide à sa surface et recouvert d'une écorce solide. »

—

Sur la fusibilité dans la série des glycols normaux bi-primaires

$$(HO)CH_2 - (CH_2)_n - CH_2(OH);$$

par Louis Henry, membre de l'Académie.

Je me suis occupé à diverses reprises de la variation *alternante* de certaines propriétés physiques telles que la *fusibilité*, la *solubilité*, la *volatilité* et même l'*aspect extérieur* dans les séries des dérivés aliphatiques normaux $\geqslant C - (CH_2)_n - C \leqslant$ (*).

(*) En voici la liste :

a) Communications insérées dans les Comptes rendus de l'Académie des sciences de Paris :

1° *Sur la fusibilité dans la série oxalique,* t. XCIX, p. 1157; t. C, p. 60 (année 1885).

2° *Sur les nitriles pyrotartrique et succinique normaux,* t. C, p. 742 (année 1885).

Les plus simples, parmi ces séries, sont celles des dérivés *bi-primaires* $X'CH_2 - (CH_2)_n - CH_2X'$, et dans ceux-ci, il n'en est pas de plus intéressants, à tous les points de vue, que les *glycols* de la formule générale $(HO)CH_2 - (CH_2)_n - CH_2(OH)$.

Restreint pendant très longtemps à ses deux premiers termes, en C_2 et en C_3, les glycols *éthylénique* $(HO)CH_2 - CH_2(OH)$ et *triméthylénique* $(HO)CH_2 - CH_2 - CH_2(OH)$, le groupe de ces composés s'est considérablement développé dans le courant de ces dernières années : sauf le terme en C_7, le glycol pimélique $(HO)CH_2 - (CH_2)_5 - CH_2(OH)$, il est complet jusqu'à l'étage C_{10} inclus. On doit regretter toutefois que le point de fusion du glycol *glutarique* ou *penta-méthylénique* $(H_2C)_3 - (CH_2 - OH)_2$ n'ait pas encore pu être indiqué par son auteur, M. l'abbé J. Hamonet.

Quoi qu'il en soit, voici la série complète de ces composés, avec leurs points de fusion, telle qu'elle existe en ce moment.

3° *Sur les amides du groupe oxalo-adipique,* t. C, p. 943 (année 1885).

4° *Sur le nitrile malonique,* t. CII, p. 1394 (année 1886).

5° *Sur les dinitriles normaux,* t. CII, p. 1481 (année 1886).

b) Dans le BULLETIN DE L'ACAD. ROYALE DE BELGIQUE, Classe des sciences :

1° *Sur l'alternance de volatilité dans la série des chlorures acides normaux* $C_nH_{2n+1} - COCl$, p. 63 (année 1899).

2° *Sur l'alternance de volatilité dans la série des diamines normales et primaires* $(H_2N)CH_2 - (CH_2)_n - CH_2(NH_2)$, p. 795 (année 1900).

3° *Sur le dinitrile adipique* $(CH_2)_n - (CN)_2$, p. 367 (année 1901).

Étage.	Formule.	Point de fusion.	
C_2	$(HO)CH_2 - CH_2(OH)$	-12°	(*)
C_3	$(HO)CH_2 - (CH_2)_1 - CH_2(OH)$	-53°	(**)
C_4	$(HO)CH_2 - (CH_2)_2 - CH_2(OH)$	$+16^o$	(***)

(*) Le point de fusion du glycol éthylénique n'a pas été indiqué par l'auteur de ce composé, Ad. Wurtz. Je me suis occupé de le déterminer au cours d'un travail, fait il y a longtemps déjà et que je n'ai pas encore publié, sur la *fusibilité relative* des composés $\geqslant C - C \leqslant$ et $\geqslant C - CH_2 - C \leqslant$. Je trouve dans mes notes qu'un échantillon de glycol $C_2H_4(OH)_2$, qui avait bouilli d'une manière constante à 200°, toute la colonne mercurielle dans la vapeur, sous la pression de 764 millimètres, cristallisait en lamelles dans un mélange réfrigérant de neige carbonique et d'éther, et fondait fixe à 14°8. J'ai trouvé d'autres fois —14°5 et —15° pour le point de fusion.

En 1885, G. Bouchardat a indiqué —11°5 pour le point de fusion du glycol ordinaire. Tout récemment, en 1899, MM. Ladenburg et Krügel ont indiqué —17°4.

Le chiffre de Bouchardat a été confirmé par M. De Forcrand. C'est celui que j'ai choisi, en l'arrondissant (—12°), comme étant le plus élevé.

(**) Détermination personnelle. Le point de fusion de $(H_2C)_3 - (OH)_2$ n'est jusqu'ici indiqué nulle part

(***) C'est le point de fusion indiqué par M. l'abbé Hamonet, qui a obtenu, le premier, le glycol succinique à l'état de pureté.

Avant la publication du mémoire de mon savant collègue de l'Institut catholique de Paris, j'avais obtenu ce composé par la réaction de l'acide azoteux sur l'*alcool amido-butylique normal* $(H_2N)CH_2 - CH_2 - CH_2 - CH_2(OH)$, dérivé de l'alcool cyano-butylique correspondant $NC - CH_2 - CH_2 - CH_2(OH)$. Mon produit était moins pur que celui de M. l'abbé Hamonet et renfermait probablement, comme cela arrive parfois, un peu de dérivé secondaire $CH_3 - CH(OH) - CH_2 - CH_2(OH)$.

C_5	$(HO)CH_2-(CH_2)_3-CH_2(OH)$	–	(*)
C_6	$(HO)CH_2-(CH_2)_4-CH_2(OH)$	+ 41°	(**)
C_7	. . . . .		
C_8	$(HO)CH_2-(CH_2)_6-CH_2(OH)$	+ 63°	(***)
C_9	$(HO)CH_2-(CH_2)_7-CH_2(OH)$	+ 43°5	(iv)
C_{10}	$(HO)CH_2-(CH_2)_8-CH_2(OH)$	+ 71°5	(v)

(*) Ce produit a pour auteur M. l'abbé Hamonet. « Refroidi dans un mélange de neige carbonique et d'éther, il prend, dit-il, l'aspect d'un solide amorphe, mais sans présenter de traces de cristallisation. »

(**) Le glycol *hexaméthylénique* ou *adipique* $(CH_2)_6-(OH_2$ a été mis au jour aussi par M. l'abbé Hamonet, au cours de ses remarquables études synthétiques sur les glycols normaux bi-primaires $(HO)CH_2-(CH_2)_n-CH_2(OH)$. Il lui attribue 42° pour point de fusion. (*Comptes rendus, etc.*, 23 janvier 1903.)

Deux méthodes analogues de préparation des glycols ont été proposées et réalisées simultanément, ou à peu près, dans ces derniers temps :

a) L'une consiste dans la réduction hydrogénée des *diamides*, $C_nH_{2n}-(CO-NH_2)_2$.

Elle a été mise en pratique dans le laboratoire de M. le professeur Lieben, à Vienne, par MM. E. Loebl et R. Scheuble.

b) L'autre consiste dans la réduction, hydrogénée aussi, des éthers méthylique, etc., des acides bibasiques. Elle a pour auteur M. L. Bouveault.

(***) Détermination de MM. L. Bouveault et G. Blanc (*Bulletin de la Société chimique de Paris*, t. XXXI, p. 1204 [1904]). MM. Loebl et Scheuble indiquent 60°.

(iv) R. Scheuble et Loebl, *De la réduction de l'amide azélaïque.* (Monatshefte, etc., t. XXV [1904], p. 1085.) Les auteurs indiquent 45°5.

(v) Détermination de MM. Bouveault et Blanc (*Bulletin de la Société chimique de Paris*, p. 1205). MM. Loebl et Scheuble indiquent 70°.

L'examen de ce relevé permet de constater deux faits généraux :

1° La diminution progressive de la fusibilité attestée par l'élévation du point de fusion, à mesure que l'on s'élève plus haut dans l'échelle de carburation ;

2° Comme dans d'autres séries homologues, l'*alternance de fusibilité* entre les divers termes successifs, suivant que ceux-ci renferment dans leur molécule un nombre d'atomes de carbone *pair* ou *impair*, chaque terme *impair* étant relativement *plus fusible* que le terme *pair* immédiatement précédent, c'est-à-dire moins carboné.

Ce groupe total des glycols poly-méthyléniques normaux, $(HO)CH_2 - (CH_2)_n - CH_2(OH)$, se constitue de deux séries partielles, l'une renfermant les divers termes à nombre *pair* d'atomes de carbone, l'autre ceux à nombre *impair* d'atomes de cet élément. De celle-ci, je ne puis rien dire, vu qu'elle est encore incomplète, un de ses termes faisant défaut, et la fusibilité d'un autre n'étant pas indiquée. Mais aucune indication ne manque pour la série *paire*. La voici telle qu'elle se présente dans son état actuel :

Étage.	Formule.	Fusion.	Différence.
C_2	$(HO)CH_2 - CH_2(OH)$	$-12°$	
			$+28°$
C_4	$(HO)CH_2 - (CH_2)_2 - CH_2(OH)$	$+16°$	
			$+24°$
C_6	$(HO)CH_2 - (CH_2)_4 - CH_2(OH)$	$+40°$-$41°$	
			$+23°$
C_8	$(HO)CH_2 - (CH_2)_6 - CH_2(OH)$	$+63°$	
			$+8°$
C_{10}	$(HO)CH_2 - (CH_2)_8 - CH_2(OH)$	$+71°5$	

Les points de fusion s'élèvent dans cette série d'une manière progressive, et j'ajouterai *régulière*, de l'étage C_2

à l'étage C_8 inclus, l'addition du système *biméthylénique* $H_2C - CH_2$ déterminant une élévation dans le point de fusion de valeur correspondante, mais régulièrement décroissante à mesure que l'on s'élève plus haut dans l'échelle de carburation. Mais entre l'étage C_8 et l'étage C_{10}, la modification dans la fusibilité prend une autre allure, et la différence entre les points de fusion diminue considérablement, de manière à n'être plus que le *tiers* de ce qu'elle est entre les deux termes précédents C_6 et C_8.

Il est intéressant de comparer, au point de vue de la variation de la *fusibilité*, la série des *glycols* normaux biprimaires $(HO)CH_2 - (CH_2)_n - CH_2(OH)$ avec celle des *acides bibasiques* correspondants $(HO)CO - (CH_2)_n - CO(OH)$.

Les voici en regard l'une de l'autre :

Étage.	Glycols.		Acides.		Différence.
C_2	– 12°		+ 212°		+ 224°
		– 41°		– 80°	
C_3	– 53°		+ 132°		+ 185°
		+ 69°		+ 48°	
C_4	+ 16°		+ 180°		+ 164°
				– 82°	
C_5	»		+ 98°		
				+ 50°	
C_8	+ 41°		+ 148°		+ 107°
				– 45°	
C	»		+ 103°		
				+ 37°	
C_8	+ 63°		+ 140°		+ 77°
		– 20°		– 34°	
C_9	+ 43°5		+ 106°		62°
		+ 27°		+ 27°	
C_{10}	+ 71°		+ 133°		62°

On aperçoit tout d'abord, fait qui se passe d'explication tellement elle est évidente, que la différence de

fusibilité entre un *glycol* et l'*acide bibasique* correspondant va en s'affaiblissant à mesure que l'on s'élève dans l'échelle de carburation : de 224° à l'étage C_2, elle tombe à 62° aux étages C_9 et C_{10}.

On aperçoit ensuite que ces deux séries se développent, quant à la fusibilité, sous des régimes fort différents, soit qu'on les considère dans leur ensemble, soit qu'on les considère entre des termes successifs aux divers étages de la série de carburation.

Dans la série des glycols, la fusibilité, comme je l'ai déjà dit, diminue à mesure que l'on s'élève dans la série de carburation. Il n'en est pas ainsi dans la série des acides, l'acide en C_5 présente en effet une fusibilité à peu de chose près la même que celle de l'acide en C_{10}. Au fur et à mesure que l'on s'élève dans la série, le caractère hydrocarbure du composant $(CH_2)_n$ de la molécule tend à prendre dans celle-ci une influence de plus en plus considérable. Il est assez remarquable qu'entre le terme en C_9 et le terme en C_{10} dans chacune de ces séries existe une différence de fusibilité, non seulement de même ordre général ou de même signe, ce qui était à prévoir, mais de même valeur.

La comparaison des deux séries, *paires*, glycols et acides, est particulièrement intéressante à faire remarquer au double point de vue que j'ai signalé plus haut.

Étage.	Glycols.		Acides.	
C_2	− 12°		212°	
		+ 28°		− 32°
C_4	+ 16°		180°	
		+ 25°		− 32°
C_6	+ 41°		148°	
		+ 22°		− 8°
C_8	+ 63°		140°	
		+ 8°		− 7°
C_{10}	+ 71°		133°	

A des différences en *plus* dans la série des *glycols* correspondent, dans la série des *acides*, des différences en *moins*. Ces différences d'ordres divers diminuent de valeur alors que l'on s'élève dans l'échelle de carburation, mais plutôt dans la série des *acides* que dans celle des *glycols*, pour arriver à la même valeur absolue à peu près entre les étages C_8 et C_{10}. Il y a là une coïncidence fort remarquable, qui tendrait à faire croire qu'entre ces étages le composant $\begin{matrix} CH_2 \\ | \\ CH_2 \end{matrix}$ bi-méthylénique a la même valeur dans la molécule totale.

En complétant et en précisant nos connaissances sous ce rapport, le temps — et l'on peut prévoir qu'il ne devra pas être bien long — nous permettra de préciser aussi et de mieux comprendre les relations curieuses qui existent, sous le rapport des températures où ils prennent l'état liquide, entre les divers termes de ces séries de dérivés symétriques $\leqslant C - (CH_2)_n - C \geqslant$.

—

Le phénomène de la phosphorescence et la genèse de la matière;
par P. De Heen, membre de l'Académie.

Dans un remarquable travail, le Dr Gustave le Bon a résumé et complété, par des expériences nouvelles, l'état de nos connaissances sur le phénomène de la phosphorescence. Comme il le fait remarquer à juste titre, cette manifestation, qui semblait exceptionnelle, se montre de plus en plus comme une manifestation générale de la matière. Cette conclusion est l'analogue de celle qui concerne la radioactivité; là encore le Dr Gustave le Bon et nous-même sommes arrivés par des voies différentes et à peu près simultanément à la même conclusion.

Il résulte des considérations que nous avons développées antérieurement que si l'atome est représenté par un tourbillon, constitué lui-même par les *ions* ou *dynamides* bipôles, la destruction de ces *tourbillons atomes* avec émission d'ions bipôles doit se faire avec dégagement de chaleur. Ces émissions constituent les rayons α ou β, suivant l'orientation des ions projetés.

Cette hypothèse étant admise, nous voyons comment la matière se détruit pour passer à l'*état radiant* ou *infra-électrique*. Les corps incandescents, l'aigrette électrique, etc., sont le siège de cette manifestation, ils déchargent les corps électrisés et ne diffèrent des corps radio-actifs que par la vitesse de projection ou la force de pénétration des ions libérés.

Mais si les physiciens se sont beaucoup préoccupés des phénomènes radioactifs et de leurs congénères que nous venons d'indiquer, et qui correspondent à la *destruction de l'atome tourbillon matériel*, ils semblent s'être moins préoccupés des phénomènes inverses qui accompagneraient la *formation*, la *genèse de l'atome*.

Or nous croyons pouvoir dire que si les phénomènes dits radioactifs et leurs congénères président à la destruction de l'atome, le phénomène de la phosphorescence préside à sa genèse.

La condition fondamentale pour que l'on puisse observer des phénomènes radioactifs ou de phosphorescence est qu'il existe, dans le milieu observé, des ions à l'état de liberté; c'est la raison pour laquelle ces deux ordres de phénomènes s'observent dans des conditions analogues.

Le radium est phosphorescent et radioactif.

Cependant, en y regardant de plus près, nous avons

constaté un fait qui nous a vivement frappé à l'époque où nous l'avons observé, mais dont la cause nous échappait alors : Si l'on approche d'un électroscope chargé une source mettant des ions en liberté, telle qu'une flamme de Bunsen ou une étincelle jaillissant entre une électrode de platine et de l'eau, on constate que la décharge est très rapide. Mais si nous développons dans ces sources le phénomène de la phosphorescence en introduisant un sel alcalin, par exemple, dans la flamme ou dans l'eau à la surface de laquelle jaillit l'étincelle, le phénomène radioactif est à peu près complètement enrayé, l'électroscope se décharge faiblement (1).

Les manifestations de radioactivité et de phosphorescence sont donc complémentaires. Lorsque l'ion s'échappe de l'atome tourbillon, il *dégage de la chaleur;* au contraire, lorsque l'ion pénètre dans le tourbillon atomique, pour le régénérer, il émet de la *lumière froide,* non de la chaleur, car le phénomène est accompagné d'une *absorption d'énergie.* Il n'y a pas accroissement de mouvement giratoire de l'élément qui reçoit la vibration, mais simplement vibration. On sait que cette lumière, concentrée au foyer d'une forte lentille, ne détermine aucune élévation de température.

Si nous exposons une substance à des vibrations suffisamment rapides, celles-ci auront pour effet de mettre en liberté un certain nombre d'ions. Cela étant, deux cas pourront se présenter : ou bien ces ions seront définitivement libérés, s'échapperont du milieu matériel en rendant les gaz conducteurs, ainsi que le Dr Gustave

---

(1) *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique* (Classe des sciences), p. 149, 1900.

le Bon l'a montré pour un grand nombre de métaux; ou bien les ions libérés tendront à rentrer dans le tourbillon atome dont ils ont été expulsés.

Or ce serait cette dernière circonstance qui serait accompagnée du phénomène de phosphorescence avec absorption de chaleur. Les vibrations lentes tendent à reconstituer l'atome, mettent rapidement fin à ce phénomène de reconstitution en l'activant momentanément. Le sulfure de calcium montre très nettement ce phénomène; le sulfure de zinc à phosphorescence verte manifeste le même phénomène, mais avec cette différence que l'extinction produite par les grandes longueurs d'onde est instantanée; il y a donc de plus pour cette substance amortissement des vibrations rapides par les vibrations lentes.

Le nombre d'ions libres entraînés par l'action centripète dans le tourbillon atome sera d'autant plus grand que la vitesse de giration sera plus grande, que la température sera plus élevée. Chaque élévation de température détermine donc l'absorption d'un certain nombre d'ions, augmente le vide ionique de l'espace ambiant.

Le degré de vide ionique correspondant à une température donnée étant réalisé, la phosphorescence prend fin pour reprendre à une température plus élevée.

Les actions centrifuges du tourbillon tendent à développer la radioactivité, les actions centripètes, la phosphorescence.

Si nous examinons de plus près l'image que nous nous faisons de la matière, nous voyons que les oscillations rapides tendent à produire l'action pulsante de Bjerckness et la répulsion qui en est la conséquence, alors que les grandes longueurs d'onde tendent plutôt à produire une

espèce de lissage, qui oriente tous les éléments dans un sens déterminé, de manière à favoriser l'action réciproque des pôles de noms contraires, la production de la fibre ionique.

En résumé, des oscillations très longues, correspondant à des températures très basses ou même ne correspondant plus à de la chaleur, peuvent déterminer la luminescence dans un milieu renfermant des ions à l'état de liberté, et, mieux encore, le courant continu qui correspond à une oscillation dont la durée est infinie.

La température constitue donc un facteur indépendant de la luminescence.

Le Dr Gustave le Bon a montré qu'un écran placé dans l'air liquide soumis à des radiations à oscillations rapides devenait luminescent, lorsqu'on le retirait, sous l'influence des oscillations calorifiques ambiantes.

Un gaz à très basse pression renferme des ions libres; lorsque le courant passe, il devient luminescent.

Les ions qui procèdent au phénomène de la phosphorescence sont les ions α, orientés négativement ou positivement au moment où ils pénètrent dans le tourbillon atomique Δ (fig. 1).

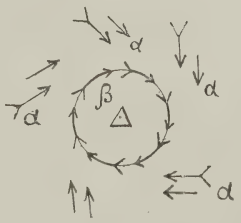


Fig. 1.

Les nébuleuses nous présentent sur une vaste échelle la phosphorescence présidant à la genèse des mondes.

Le phénomène de la fluorescence est identique au phénomène de la phosphorescence, avec cette seule différence que le nombre d'ions émis par l'atome est égal au nombre d'ions qui le reconstituent. Dans ces conditions, le

phénomène cesse au moment où la lumière cesse d'agir. Il est du reste aisé de concevoir qu'il puisse en être ainsi, si l'action dissociante des petites longueurs d'onde compense la tendance à la reconstitution.

Si les grandes longueurs d'onde sont supprimées, si nous dirigeons par exemple sur la substance un faisceau de rayons ultra-violets, nous assistons à une véritable phosphorescence.

Que les raies brillantes des spectres fournis par les gaz sont dues aux ions α environnant l'atome et tournoyant autour de celui-ci. Ce sont ces ions également qui déterminent l'absorption sélective correspondante.

Si la production de la *phosphorescence* ne nécessite pas la présence d'une haute température, mais simplement l'action de grandes longueurs d'onde qui peuvent même ne plus correspondre à la manifestation calorifique, il en est autrement du phénomène de l'*incandescence*, qui est dû aux vibrations des ions β faisant partie de l'atome lui-même (fig. 1). En résumé, l'incandescence est déterminée par la vibration de chaînes ioniques, alors que la phosphorescence est déterminée par la vibration d'ions libres. Les gaz ne deviennent pas incandescents, ou tout au moins très faiblement, lorsqu'ils émettent de la lumière, c'est toujours par phosphorescence.

Lorsque la température s'élève, les vibrations de longue durée se manifestent d'abord, puis à celles-ci s'ajoutent des vibrations de plus en plus courtes. Mais lorsque ces dernières atteignent une certaine rapidité, l'action répulsive due à l'effet Bjerckness se manifeste d'une manière suffisante pour produire le départ d'ions, la radioactivité, la décharge de l'électroscope.

Plusieurs physiciens, notamment MM. E. Wiedemann et le Dr Gustave le Bon, ont attribué le phénomène de la phosphorescence à une combinaison chimique. En réalité, s'il en était ainsi, les petites quantités de substances étrangères qui se trouvent, par exemple, dans le diamant ne tarderaient pas à se combiner définitivement et la pierre perdrait de sa valeur après quelque temps.

On ne constate rien de pareil. Si donc de petites quantités de substances étrangères sont nécessaires, elles ont simplement pour résultat de diminuer la stabilité de l'atome.

Indépendamment de cette considération, rien n'empêche du reste d'admettre que des réactions chimiques déterminent la phosphorescence au même titre qu'elles déterminent la radioactivité.

—

Note sur la signification de l'expérience de Rowland;
par P. De Heen, membre de l'Académie.

A l'origine de nos recherches sur l'interprétation des phénomènes électriques, la différence qui existe entre notre conception et celle qui est admise généralement nous semblait si grande, qu'il nous était difficile de voir la cause de l'équivalence du courant et de la convexion électrique. Actuellement, cette relation nous paraît claire, et il sera aisé de montrer par une image la différence qui existe entre le courant de convexion et le courant réel.

Ainsi que nous l'avons admis, l'électricité positive serait due à une surpression d'éther déterminée par la propulsion de l'éther gyrostatique; l'électricité négative serait, au contraire, due à une dépression éthérée déve-

loppée par le même gyrostat orienté en sens inverse (1); enfin, le courant est le résultat d'un courant d'éther développé par ce mécanisme dont le débit mesure l'intensité du courant.

Il résulte de cette considération qu'un *débit d'éther*, ou le courant, pourra se développer : 1° naturellement, au sein d'une substance iodynamique, chaque ion libre jouant le rôle de propulseur; 2° artificiellement, en développant sur une surface une surpression d'éther et en mettant ensuite cet éther mécaniquement en mouvement ou, ce qui revient au même, en se plaçant au point de vue du mouvement relatif, en déplaçant mécaniquement une dépression d'éther en sens contraire.

Nous pouvons maintenant illustrer cette conception de la manière suivante :

Comparons l'éther dans les conditions normales à de l'eau renfermée dans un tube, l'éther doué d'une surpression au mercure et l'éther déprimé à de l'air. Dans ces conditions, le *débit artificiel* d'éther pourra se représenter par la somme des masses des globules de mercure qui se déplacent dans un sens déterminé ou, ce qui revient au même, si l'on se place au point de vue du mouvement relatif, en considérant la somme des bulles d'air (de masse négligeable) se déplaçant en sens inverse.

Mais il est évident qu'au lieu de considérer un débit par globules, il est beaucoup plus simple de considérer le débit continu d'un courant normal.

Or, c'est cette image des globules, combinée avec ce préjugé que le fluide électrique représente une chose mystérieuse et irréductible, qui a donné lieu aux bizarres

---

(1) Voir *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique* (Classe des sciences), p. 138, 1902.

conceptions des physiciens modernes, qui considèrent comme choses réelles ces globules ou corpuscules négatifs ou positifs, animés de vitesses et de masses très différentes, *donc indépendants*; mais, chose très singulière, on n'est jamais parvenu à isoler un corpuscule négatif d'un corpuscule équivalent positif.

Cette réflexion seule devrait suffire pour déterminer l'abandon de pareille théorie, s'il n'existait une espèce d'entêtement accompagné de vénération pour certaines idées, sans qu'on sache trop pourquoi.

N'est-il pas beaucoup plus simple d'admettre le gyrostat aspirant et foulant, dont nous avons montré les effets par l'expérience ? On verra alors pourquoi une charge positive ne peut être séparée d'une charge négative correspondante; pourquoi la vitesse de déplacement des soi-disant corpuscules diffère, c'est-à-dire pourquoi la vitesse de l'ion n'est pas la même si l'orientation est positive ou négative.

Sur la fréquence des étoiles filantes du 14 novembre 1904; par F. Terby, membre de l'Académie.

Un accroissement marqué s'étant produit, en 1903, dans le nombre des Léonides, il était fort intéressant de suivre le phénomène en 1904; mon état de santé m'ayant empêché encore cette fois de participer à ces observations, je suis heureux de pouvoir faire part à l'Académie des résultats obtenus, comme l'année dernière, par Mlles J. et M. Terby. Observant dans un sixième du ciel, dans la direction du Sud-Est, par un ciel serein, la nuit du

14 au 15 novembre, de 11 h. 35 m. du soir à 5 h. 35 m. du matin, elles ont compté soixante-quinze étoiles filantes qui se répartissent comme suit :

De	$11^h 35^m$	à	$12^h 36^m$	. . . 10
	12 36	à	1 36	. . . 7
	1 36	à	2 34	. . . 7
	2 34	à	3 35	. . . 17
	3 35	à	4 30	. . . 25
	4 30	à	5 35	. . . 9

Un maximum bien évident s'est manifesté vers 4 h. du matin, puisque de 3 h. 47 m. à 3 h. 54 m. on a vu sept étoiles en sept minutes, et de 4 h. à 4 h. 7 m. huit étoiles en sept minutes. Les Léonides se montraient par groupes de deux ou trois se succédant rapidement, et il est arrivé d'en voir trois simultanées. Une étoile filante a atteint l'éclat de Jupiter; il y en eut vingt-quatre de première grandeur, vingt-neuf de deuxième, dix-huit de troisième et quatre de quatrième. Soixante-huit émanaient du Lion et trente et une furent suivies de traînée.

Dans les mêmes conditions, sauf le passage momentané de quelques nuages, pendant la nuit du 15 au 16 novembre, elles ont observé vingt-trois étoiles filantes seulement, de 11 h. 2 m. du soir à 4 h. 5 m. du matin. Le phénomène semblait donc en décroissance; ces étoiles se répartissent comme suit :

De	$11^h 2^m$	à	$12^h 11^m$	. . . 4
	12 11	à	1 12	. . . 3
	1 12	à	3 00	. . . 6
	3 00	à	4 5	. . . 10

Il y eut quatre étoiles de première grandeur, huit de deuxième, huit de troisième et trois de quatrième. Vingt et une émanaient du Lion et huit étaient munies de traînée.

—

Observations de Léonides faites à Boitsfort en 1904;
par Charles Fiévez.

L'état de l'atmosphère s'est présenté, cette année, dans des conditions très favorables pendant les observations.

Les étoiles de cinquième grandeur étaient bien visibles et la Lune était descendue sous l'horizon les 15 et 16 novembre.

Le 14 novembre, de minuit à 0 h. 30 m., j'ai observé, du côté de l'Est, quatre étoiles filantes venant de la constellation du Cocher.

Le 15 novembre, de 0 h. à 0 h. 30 m., j'ai vu cinq météores, dont trois Léonides, une seule de première grandeur était suivie d'une traînée; de 0 h. 30 m. à 1 h., quatre Léonides ont fait leur apparition, une de première grandeur et une de seconde grandeur, les deux avec traînée, les deux autres étaient rapides et peu lumineuses.

De 1 h. à 1 h. 20 m., j'ai encore noté quatre météores, dont une Léonide à traînée brillante. Le Cocher a donné un météore et la Grande Ourse deux.

Le 15 novembre, j'ai donc observé treize météores, dont huit Léonides. Par conséquent, la moyenne horaire était de six Léonides pour dix météores (9,7).

Le 16 novembre, de 2 h. 1 m. à 3 h. 5 m., j'ai observé

dans la région du zénith, dix-sept météores, dont six Léonides; parmi celles-ci, trois avec traînée.

A 2 h. 39 m., j'ai remarqué un éclair produit par un bolide.

Ensuite, j'ai observé du côté de l'Est, de 3 h. 15 m. à 4 h. 35 m., quinze météores, dont douze Léonides de deuxième à troisième grandeur, ce qui donne pour cette région la moyenne horaire de onze météores, dont neuf Léonides.

Le 16 novembre, j'ai constaté en deux heures et vingt-quatre minutes, de 2 h. 1 m. à 4 h. 35 m., l'apparition de trente-deux météores comprenant dix-huit Léonides. Ce qui donne la moyenne horaire de quatorze météores (13,7), dont huit Léonides (7,7).

Je n'ai pu continuer les observations pendant les nuits du 16 au 17 et du 17 au 18 novembre, à cause du brouillard.

Point radiant. — Pendant mes observations effectuées le 16 novembre du côté de l'Est, j'ai cherché, à chaque apparition d'une étoile filante, à déterminer sur la sphère céleste, en y mettant beaucoup d'attention, le prolongement de chacune des trajectoires; c'est ainsi que j'ai pu constater que les Léonides rayonnaient nettement de la tête du Lion et que le point radiant de dix Léonides avait pour coordonnées

$$\alpha = 149^\circ 30', \ \delta = 21^\circ 40'$$

—

Sur quelques dérivés chlorés des méthylals propylique et isopropylique; par Léon Stappers, docteur en sciences.

J'ai entrepris, à l'invitation de M. le professeur Louis Henry, l'étude de divers dérivés méthyliques et méthyléniques se rattachant aux alcools propylique et isopropylique chlorés.

A. — Dérivés méthyliques

$$\alpha - \text{chlorés} : H_2C < \begin{matrix} Cl \\ O - C_3 \ldots \end{matrix}$$

1. — *Oxyde de méthyle α - chloré et d'isopropyle*

$$Cl - CH_2 - O - CH < \begin{matrix} CH_3 \\ CH_3. \end{matrix}$$

Ce composé résulte de l'action de l'acide chlorhydrique sur le méthanal aqueux en présence de l'alcool isopropylique.

Voici le détail d'une opération :

A 75 grammes de la solution aqueuse à 40 % du méthanal, ce qui correspond à une molécule de $H_2C = O$, on a ajouté 60 grammes, soit une molécule, d'alcool isopropylique. Les deux liquides se dissolvent mutuellement.

Le mélange, convenablement refroidi, a été saturé de gaz acide chlorhydrique sec. Au-dessus d'une couche liquide inférieure, qui est une solution aqueuse d'acide HCl, vient surnager un liquide plus léger, qui est un mélange de cet éther méthylique chloré mixte et de méthylal

bi-isopropylique. Le chlorure de calcium ne sépare que peu de chose de la couche inférieure. Le rendement en produit brut équivaut à 63 % environ du rendement théorique. Quelques rectifications permettent de retirer de ce liquide le dérivé méthylique chloré à l'état de pureté et de le séparer du méthylal isopropylique : $H_2C-[O.CH.(CH_3)_2]_2$, qui bout à 118°5 (Arnhold).

Cet *oxyde de méthyl-isopropyle monochloré* $Cl-CH_2-O-CH<\begin{matrix}CH_3\\CH_3\end{matrix}$ constitue un liquide incolore, mobile, à odeur piquante.

Sa densité à 20°, par rapport à l'eau à la même température, est égale à 0.972.

Il bout, sous la pression de 760 millimètres, à 101°-102°, toute la colonne mercurielle dans la vapeur.

Sa densité de vapeur, déterminée par la méthode de Meyer, à la température d'ébullition de l'aniline, a été trouvée égale à 3.574.

Substance	0gr1125
Volume de gaz expulsé . .	25cc9
Température de l'eau . . .	15°
Hauteur barométrique. . .	766mm

La densité théorique est 3.749.

Son indice de réfraction pour la raie D, à la température de 18°, est 1.41136, ce qui correspond à un pouvoir réfringent moléculaire de 27.72, alors que la théorie demande 27.144.

Ce corps est fort altérable à l'air ordinaire et répand des fumées, le chlore du composant $Cl-CH_2$ devenant, en présence de l'humidité de l'air, de l'acide HCl. Naturellement insoluble dans l'eau, il y disparaît rapidement en se transformant en ses générateurs.

Cette décomposition permet de faire aisément le dosage du chlore par titration; j'y ai trouvé 32.11 et 32.42 % de cet élément, alors que la formule en demande 32.71 %.

2. — *Oxyde de méthyle-isopropyle bichloré bi-primaire*

$$H_2C < \begin{matrix} O - CH < \begin{matrix} CH_2Cl \\ CH_3. \end{matrix} \\ Cl \end{matrix}$$

Ce corps se produit dans les mêmes conditions que le précédent, à l'aide de la *mono-chlorhydrine propylénique, alcool secondaire* $ClCH_2 - CH(OH) - CH_3$.

C'est un liquide incolore, fort altérable à l'air, comme le précédent, et en présence de l'eau.

Il bout sous la pression de 763 millimètres à 162°-164°.

Sa densité à 20° est égale à 1.197.

B. — **Dérivés méthyléniques. — Méthylals isopropyliques**

$$H_2C \begin{cases} O - CH < \begin{matrix} C - \\ C - \end{matrix} \\ O - CH < \begin{matrix} C - \\ C - \end{matrix} \end{cases}$$

Ces corps se produisent de deux manières différentes :

a) Par la réaction des éthers méthyliques chlorés

$$H_2C < \begin{matrix} O - CH < \begin{matrix} C - \\ C - \end{matrix} \\ Cl \end{matrix}$$

sur le composé isopropylique correspondant, à fonction alcool, par conséquent dans la réaction précédente, action

de HCl gaz sur le méthanal aqueux $H_2C = O$ aq., en présence de deux molécules de composé isopropylique. On soumet à l'action de la chaleur, pendant quelque temps, le composé primitivement formé.

b) D'une manière plus commode, par la réaction directe du poly-oxy-méthylène sur le composé alcoolique isopropylique.

A deux molécules de celui-ci, on ajoute une molécule de *méthanal polymérisé* $(H_2C = O)_n$ et quelque peu de chlorure ferrique anhydre. On chauffe pendant quelque temps au bain d'air, à une douce ébullition, ce mélange dans un appareil à reflux. La dépolymérisation s'accomplit aisément.

La distillation fractionnée permet d'isoler sans difficulté le produit formé, alors que celui-ci est distillable.

Le rendement de ces opérations n'est que relativement satisfaisant : 38 grammes de *chlorhydrine isopropylénique* $ClCH_2\text{-}CH(OH)\text{-}CH_3$ avec 6 grammes de *poly-oxy-méthylène* m'ont donné 15 grammes de produit, ce qui correspond à un rendement de 37 %.

1° Dérivés bichlorés.

Méthylal isopropylique symétrique bichloré bi-primaire

$$H_2C \begin{cases} O - CH < \begin{matrix} CH_2Cl \\ CH_3 \end{matrix} \\ O - CH < \begin{matrix} CH_2Cl \\ CH_3. \end{matrix} \end{cases}$$

Ce méthylal constitue un liquide incolore, mobile, peu odorant, d'une saveur amère très piquante.

Sa densité à 20° est égale à 1.150.

Il bout à 227°-228° sous la pression de 758 millimètres.

Son indice de réfraction pour la raie D, à 20°, est égal à 1.45607, d'où l'on déduit, pour la réfraction moléculaire, 47.511, alors que le calcul conduit à 47.583.

Le poids moléculaire de ce corps, déterminé par la cryoscopie dans la benzine, a été trouvé égal à 195.36 et 200.74. La formule correspond à 201.

Ce corps est stable en présence de l'air ordinaire et dans l'eau, qui ne le dissout pas.

Le dosage du chlore a été effectué en le chauffant en vase clos avec une solution d'éthylate sodique dans l'alcool. On y a trouvé 35.43 et 35.27 % de cet élément, alors que la formule en demande 35.32.

Méthylal bi-propylique normal bisecondaire

$$H_2C < \begin{matrix} O \cdot CH_2 - CHCl - CH_3 \\ O \cdot CH_2 - CHCl - CH_3. \end{matrix}$$

La *mono-chlorhydrine propylénique alcool primaire* $H_3C\text{-}CHCl\text{-}CH_2(OH)$, préparée selon le procédé indiqué l'an dernier par Louis Henry (*), m'a fourni, dans les conditions indiquées précédemment, ce produit isomère du précédent; 65 grammes de cette chlorhydrine - CHCl - ont été consacrés à cet objet. Les premières rectifications de la masse liquide ont été opérées sous une pression très raréfiée.

Ce corps rappelle en tous points son isomère *iso*, à chaîne carbonée ramifiée.

(*) Voir *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique* (Classe des sciences), année 1903, pp. 406 et suivantes.

Sa densité à 20° est égale à 1.145. Il bout sous la pression ordinaire à 228°.

Son poids moléculaire, déterminé cryoscopiquement dans la benzine, est 196.29 et 198.04, au lieu de 201 selon la formule.

Son indice de réfraction est 1.45307, qui correspond à 47.453 comme pouvoir réfringent moléculaire, alors que la formule indiquée demande 47.583.

On y a trouvé 35.27 et 35.40 % de chlore, alors que la théorie en demande 35.32 %.

Il est assez remarquable que ces deux composés isomères ont la même volatilité.

Les composés à chaîne carbonée rectiligne ont généralement un point d'ébullition plus élevé que les composés isomères à chaîne carbonée ramifiée. Ici cette différence est compensée par la différence de nature du composant éther haloïde, *primaire* - CH_2Cl dans le composé *iso-propylique, secondaire* - CHCl - dans le composé *propylique* proprement dit.

Le composé isomère de l'un de ces deux méthylals, mais bi-primaire H_2C-(O-CH_2-$CH_2CH_2Cl)_2$, a été décrit précédemment par Louis Henry (*).

Ce corps résulte de l'action de l'acide HCl gazeux sur la solution de la *monochlorhydrine tri-méthylénique* (HO)CH_2 - CH_2 - CH_2Cl — deux molécules — dans le méthanal ($H_2C=O$) aq. de 40 %.

Il bout sous la pression ordinaire à 255°-258°. On voit que les rapports habituels de volatilité entre les dérivés propyliques C - C - C primaires et secondaires sont ici conservés.

(*) *Bull. de l'Acad. roy. de Belgique,* t. XXIX (3), p. 223 (année 1895).

2° Dérivés tétrachlorés.

1. — *Méthylal isopropylique tétrachloré symétrique*

$$H_2C < \begin{matrix} O - CH \cdot (CH_2Cl)_2 \\ O - CH \cdot (CH_2Cl)_2. \end{matrix}$$

Ce corps résulte de l'action du poly-oxy-méthylène, dans les conditions indiquées, sur la *di-chlorhydrine glycérique bi-primaire* $ClCH_2 - CH(OH) - CH_2Cl$. 129 grammes de celle-ci et 15 grammes de $(CH_2 = O)_n$ ont été mis en réaction en présence de quelques fragments de Fe_2Cl_6.

Le produit immédiat de l'opération a été soumis à la distillation sous une pression de 107 millimètres environ, et a passé vers 220°.

J'en ai recueilli 38 à 39 grammes, ce qui correspond à un rendement d'environ 43 %.

Le produit de la distillation se prend en une masse cristalline par le refroidissement. J'ai trouvé dans ce composé 52.55 et 52.49 % de chlore, alors que la formule en demande 52.59.

Le *méthylal isopropylique tétrachloré symétrique* constitue un beau corps solide, d'une parfaite blancheur, insoluble dans l'eau et stable à l'air.

Il fond à 51° et bout vers 220° sous la pression de 107 millimètres.

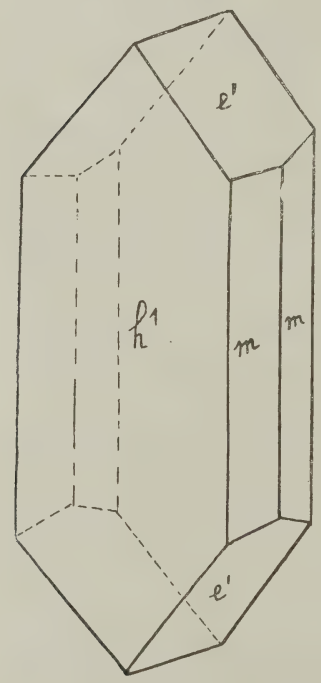
Son poids moléculaire, à la suite de déterminations cryoscopiques dans la benzine, a été trouvé égal à 276.3; la formule correspond à 270.

Ce corps est insoluble ou fort peu soluble dans la pétroléine, mais il se dissout aisément dans la benzine, l'éther ordinaire et le chloroforme. Il est susceptible de

cristalliser de ces solutions par évaporation spontanée en cristaux magnifiques, d'un grand éclat et susceptibles d'atteindre quelques centimètres de longueur. Leur aspect extérieur indique qu'ils appartiennent au système clinorhombique.

M. le professeur Kaisin a bien voulu en faire l'examen. Voici la note qu'il m'a remise à ce sujet et pour laquelle je lui exprime tous mes remerciements :

Les cristaux qui ont été étudiés sont extrêmement bien formés : leurs faces, parfaitement planes et brillantes, permettent des mesures fort exactes. Leur dimension va de quelques millimètres à 2 $^1/_2$ centimètres. Les grands cristaux sont tous très régulièrement formés et leurs faces ne fournissent pas de moins bonnes images goniométriques que les faces des plus petits.



On reconnaît à première vue la symétrie monoclinique : tous les cristaux examinés présentent les mêmes faces :

$m = (110)$ $h' = (100)$ $e' = (011)$.

On a mesuré :

$m'\ m$ (sur x) $= 140°27'$
$h'\ m$ $= 70°13'30''$
$e'\ m$ $= 57°11'30''$
$e'\ e'$ (sur z) $= 108°19'$

d'où l'on tire :

$$\alpha\ (= h'p) = 82°50'$$

$$a : b : c = 2.787 : 1 : 1.384.$$

Il existe dans ces cristaux un plan de clivage facile parallèle à h'; un autre clivage, distinct, mais assez imparfait, se montre suivant y'.

On aperçoit au travers de h', en lumière convergente, l'image d'un des axes optiques : ceux-ci sont contenus dans le plan de symétrie.

2. — *Méthylal propylique normal tétrachloré bi (primaire-secondaire)*

$$H_2C < \begin{matrix} O.CH_2 - CHCl - CH_2Cl \\ O.CH_2 - CHCl - CH_2Cl. \end{matrix}$$

J'ai obtenu ce composé par la méthode ordinaire, à l'aide de la *dichlorhydrine glycérique dissymétrique :* $CH_2Cl - CHCl - CH_2(OH)$.

Celle-ci a été préparée par la combinaison directe du chlore avec l'alcool allylique. Je crois inutile de revenir sur cette réaction bien connue.

J'ai trouvé dans ce corps 52.14 et 52.26 % de chlore, alors que la formule correspond à 52.59.

A l'inverse de son isomère le composé précédent, ce composé constitue un liquide incolore, assez épais et peu mobile. Je ne suis pas parvenu à le congeler dans un mélange réfrigérant de neige et de chlorure de calcium hydraté; il y devient seulement fort épais et perd sa fluidité.

Sa densité à l'état liquide est égale, à 20°, à 1.370.

Son indice de réfraction pour la raie D à 20° est égal à 1.49399, ce qui correspond à un pouvoir réfringent moléculaire de 57.381, alors que la théorie conduit à 57.477.

Son poids moléculaire, déterminé cryoscopiquement dans la benzine, a été trouvé égal à 275 et 270.94; la formule correspond à 270.

Ce travail a été fait au laboratoire de chimie générale de l'Université de Louvain.

Je me fais un devoir d'exprimer à MM. les professeurs Louis Henry et Paul Henry mes bien vifs remerciements pour leur bienveillante et efficace intervention dans ces recherches, que j'ai été au regret de ne pas pouvoir rendre plus complètes, à cause de ma santé qui a laissé à désirer.

Sur le tétrahydrate de chlorure de cobalt (*); par le Dr W. Oechsner de Coninck, professeur à l'Université de Montpellier.

Lorsqu'on abandonne, dans une atmosphère humide, du chlorure de cobalt anhydre, il ne tarde pas à s'hydrater, et il est facile de saisir le moment où l'hydrate formé répond à la formule $CoCl^2 + 4H^2O$.

Comme l'existence de cet hydrate a été mise en doute

(*) Montpellier, Institut de chimie de l'Université, novembre 1904.

par plusieurs chimistes, je demande à l'Académie royale la permission de lui communiquer deux des analyses que j'ai eu l'occasion de faire récemment.

La formule $CoCl^2 + 4H^2O$ exige 35.64 % H^2O. Or, j'ai trouvé 35.60 et 35.72 % d'eau.

J'ajoute que si l'on expose à l'air le tétrahydrate, il absorbe rapidement $2H^2O$, pour passer à l'état d'hexahydrate normal $CoCl^2 + 6H^2O$.

—

Synthèse d'un sulfate double de sodium et d'uranyle, par le procédé de M. Spring (*); par le Dr W. Oechsner de Coninck, professeur à l'Université de Montpellier.

On broie énergiquement, dans un mortier de porcelaine, de l'hydrate uranique UO^3H^2O avec un excès de bisulfate de sodium (environ 2 molécules pour 1 molécule UO^4H^2); on laisse reposer un certain temps, on reprend par l'eau distillée et l'on fait cristalliser.

Le sel que j'ai obtenu dans ces conditions est un sulfate double répondant à la formule

$$SO^4Na^2 + SO^4(UO^2) + 3H^2O.$$

Sa formation est représentée très simplement par la réaction suivante :

$$2(SO^4HNa) + UO^3H^2O = 2H^2O + \left[SO^4(UO^2)SO^4Na^2\right].$$

(*) Montpellier, Institut de chimie de l'Université, octobre 1904.

Ce sel ne diffère de celui qui est décrit dans les traités classiques que par une demi-molécule d'eau en plus; il lui ressemble par toutes ses autres propriétés.

ÉLECTIONS.

La Classe renouvelle le mandat de MM. Dewalque, Lancaster, Mourlon, Spring et Van der Mensbrugghe comme membres de sa Commission spéciale des finances pour l'année 1905.

CLASSE DES SCIENCES.

Séance du 15 décembre 1904.

M. Léon Fredericq, directeur.

M. le chevalier Edmond Marchal, secrétaire perpétuel.

Sont présents : MM. P. De Heen, *vice-directeur;* G. Dewalque, C. Malaise, F. Folie, F. Plateau, Ch. Van Bambeke, Alfr. Gilkinet, G. Van der Mensbrugghe, W. Spring, Louis Henry, M. Mourlon, P. Mansion, C. Le Paige, Ch. Lagrange, J. Neuberg, A. Lancaster, L. Errera, Julien Fraipont, A. Jorissen, P. Francotte, Paul Pelseneer, *membres;* Aug. Lameere et Th. Durand, *correspondants.*

En ouvrant la séance, M. le directeur Fredericq prononce les paroles suivantes :

« Le 15 décembre 1854, il y a juste cinquante ans, la Classe des sciences de l'Académie royale de Belgique nommait M. Dewalque correspondant; peu d'années après, elle l'admettait parmi ses membres titulaires. L'Académie n'a eu qu'à se féliciter de ce choix. Les travaux aussi nombreux qu'importants de M. Dewalque lui ont grandement fait honneur.

» En votre nom à tous, Messieurs, je présente à M. Dewalque nos félicitations et nos vœux les plus cordiaux à l'occasion de cet anniversaire. Puisse-t-il pen-

dant de longues années encore poursuivre le cours de sa féconde et glorieuse carrière. » (*Unanimes applaudissements.*)

CORRESPONDANCE.

Par une lettre du Palais, le Roi remercie la Classe de l'invitation à assister à sa séance publique annuelle. Il lui fait exprimer, en même temps, ses regrets de ne pouvoir accepter cette invitation.

L'Académie royale de médecine remercie pour l'invitation adressée à son Bureau et à ses membres.

— M. le Ministre de l'Intérieur et de l'Instruction publique demande l'avis de la Classe sur les requêtes par lesquelles M. A. Falloise et M. Marc de Selys Longchamps demandent à pouvoir occuper pendant l'année 1905 la Table belge de la Station zoologique de Naples.

— Renvoi à MM. Van Beneden, Van Bambeke et Plateau.

— M. Paul Pelseneer offre, à titre d'hommage, un exemplaire de la communication qu'il a lue au Congrès d'Angers (1903) de l'Association française pour l'avancement des sciences.

Cette brochure porte pour titre : *Quelques problèmes zoologiques de l'Antarctique.*

— Remerciements.

JUGEMENT DES CONCOURS.

PRIX ÉDOUARD MAILLY

POUR FAVORISER LES PROGRÈS DE L'ASTRONOMIE EN BELGIQUE.

(Troisième période : 1900-1903.)

Rapport de M. F. Folie, premier commissaire.

« Les lecteurs du *Bulletin* qui ont pris connaissance des rapports sur les travaux des Belges qui ont concouru pour le prix Mailly pourront s'étonner que ce prix n'ait jamais été attribué qu'à des personnes qui ont contribué à répandre le goût de l'astronomie; ils doivent en conclure qu'aucun progrès n'a été réalisé en Belgique dans cette science.

La première fois, le prix a été partagé entre les rédacteurs astronomes de *Ciel et Terre;* la seconde fois, il a été décerné à M. P. Jacobs, fondateur de la Société belge d'astronomie.

Ces deux distinctions étaient certainement très méritées.

Mais on s'étonnera, à l'étranger particulièrement, qu'il ne soit fait mention, dans les rapports présentés à ce sujet, d'aucun progrès réalisé en astronomie dans notre pays; on s'en étonnera surtout si l'on ignore que la Classe a décidé (implicitement ou explicitement, je ne sais) que ses membres ne pouvaient prendre part au concours, décision qui semble formellement contraire aux volontés du testateur.

Il y a lieu d'espérer qu'elle ne sera pas maintenue

relativement à des prix plus récents fondés par plusieurs confrères. Une semblable décision serait en effet de nature à arrêter l'éclosion de travaux sérieux et, en outre, à laisser dans l'ombre ceux qui ont été produits par des membres de la Classe; elle nuirait ainsi considérablement au prestige de la science belge à l'étranger.

Tout au moins les rapports devraient-ils mentionner les travaux des membres qui seraient dignes de participer au concours, pour que le public n'en ignore.

J'ai cru ce préambule utile parce que, pour cette troisième période comme pour les précédentes, parmi les travaux présentés au concours, il n'en est pas un seul qui ait réalisé quelque progrès en astronomie.

Ceux de M. P. Stroobant sont dans ce cas.

Le premier, *La prochaine opposition de la planète Éros*, est un travail sérieux qui a coûté beaucoup de peine à l'auteur, sans qu'il en retirât le fruit qu'il en attendait peut-être, les astronomes ayant adopté les éphémérides et les étoiles indiquées par la Conférence astrophysique de 1900.

Le second, *Sur la détermination des positions absolues,* relate les divers procédés en usage pour la détermination de l'équation personnelle; il est juste d'en signaler spécialement un dû à l'auteur lui-même; mais ce progrès ne semble pas de nature à emporter le prix.

Le troisième est l'*Explication des termes astronomiques usités dans l'Annuaire;* je ne m'y arrêterai pas.

Le quatrième, *La mesure de l'ascension droite des astres et l'usage des mires méridiennes*, est un travail utile aux astronomes, dont il accepte toutes les idées et tous les errements. Son analyse m'obligerait à rentrer dans la discussion des formules à employer pour la détermination

de l'heure et de l'ascension droite, formules sur lesquelles je suis complètement en désaccord avec les astronomes. Dans tous les cas, il n'y a, dans cet ouvrage, malgré son incontestable utilité pour les astronomes professionnels, aucun progrès réalisé par l'auteur.

Le cinquième, *La date où vivait l'astronome Julien de Laodicée,* est un fragment d'histoire de l'astronomie ancienne publié en collaboration avec M. Franz Cumont.

Le sixième, enfin, *Précis d'astronomie pratique*, ne peut pas être considéré comme ayant contribué soit à répandre le goût de l'astronomie, soit à lui faire réaliser un progrès. Il est beaucoup trop mathématique pour les gens du monde, et ses formules, qui sont pour eux de l'hébreu, sont données, pour les astronomes, sans démonstration.

Aucun des ouvrages présentés par M. P. Stroobant ne réalise donc ni l'une ni l'autre des conditions imposées par Mailly pour l'obtention de son prix.

Un second concurrent est entré en lice, M. A. Boutquin, chef de division aux Télégraphes. Il n'est pas astronome, mais physicien. Son ouvrage, intitulé : *Entretiens sur le monde physique; aperçu, à la portée de tous, de la constitution de l'Univers*, constitue un résumé, au courant des découvertes les plus récentes, de nos connaissances sur le monde physique et les lois qui le régissent.

Le chapitre Ier est un résumé d'astronomie sphérique dont la lecture n'offre pas de difficultés sérieuses pour une personne instruite, qui n'est même pas versée en mathématiques ou en astronomie. De-ci de-là, il renferme quelque erreur. On y trouve intercalé « un peu de physico-chimie », qui n'est pas là à sa place.

Le chapitre II traite de la pesanteur, de l'attraction universelle, du pendule, de la densité moyenne de la Terre, enfin des grandes phases de l'histoire de l'astronomie, d'Hipparque à Newton.

Le chapitre III traite du Soleil, puis de l'aberration, de la précession et de la nutation.

Le chapitre IV, des planètes. Il est regrettable que l'auteur ne mentionne pas explicitement la grande découverte de Schiaparelli, qui destitue définitivement Mercure et Vénus du rang de planètes et leur assigne le rôle moins important de satellites du Soleil.

Le chapitre V est consacré à la rotation de la Terre. L'auteur s'y étend beaucoup trop longuement sur les discussions plutôt métaphysiques soulevées, à propos des nouvelles expériences sur le pendule Foucault, par M. Poincaré. Ces spéculations ne sont nullement à la portée de la généralité des lecteurs, et il importe, je pense, de ne pas faire naître de doutes dans leur esprit sur la réalité de la découverte de Copernic, dont les preuves sont innombrables. Galilée, le plus grand génie mécanique qui ait paru entre Archimède et Newton, semble avoir été quelque peu ravalé par l'auteur.

Le chapitre VI étudie la croûte terrestre, les éruptions volcaniques et les phénomènes sismiques. Dans ce chapitre très intéressant, nous aurions quelques réserves et quelques observations très importantes à faire; mais nous sortirions des bornes imposées à un simple rapport.

Le chapitre VII, également intéressant et bien documenté, traite du magnétisme et des aurores boréales.

Le chapitre VIIbis, de l'atmosphère de la Terre, de sa composition, sa température, sa pression, ses mouvements, ses météores.

Le chapitre VIII, de l'électricité atmosphérique, des

orages et des éclairs de chaleur, que l'auteur croit, avec beaucoup de météorologistes, n'être que des manifestations d'un orage éloigné. J'ai la preuve du contraire (1).

Le chapitre IX donne quelques notions sur les mers, leur coloration, leur profondeur, leur température, les courants marins, enfin sur les marées. Ce dernier paragraphe est beaucoup trop succinct.

Le chapitre X et dernier résume les idées cosmographiques de Kant, de Laplace et de Faye.

Un chapitre fait complètement défaut dans cet ouvrage, et ce me semble, d'après la nature de celui-ci, être une lacune considérable. Il n'y est pas fait mention de la théorie qui, dans la seconde moitié du siècle dernier, a le plus puissamment contribué aux progrès de la science de la nature, je veux parler de la théorie mécanique de la chaleur et de l'électricité. Cette lacune devra être comblée si, comme j'ai lieu de l'espérer, l'auteur fait imprimer son travail.

Car l'ouvrage de M. Boutquin répond assez bien à l'une des intentions du testateur; il contribue à répandre le goût de l'astronomie et celui des sciences physiques en général. A part quelques lacunes et quelques erreurs, il est assez complet et bien documenté en ce qui concerne la partie astronomique, qui est, du reste, la plus considérable. Le style en est clair et n'aurait besoin que de quelques retouches.

Aussi, puisque l'intention de l'auteur, s'il obtient le prix Mailly, est d'en faire usage pour faire imprimer son travail, je n'hésite pas à proposer à la Classe de le lui décerner. »

---

(1) *Petite Climatologie de l'amateur et de l'agriculteur belge.*

—

Rapport de M. Ch. Lagrange, deuxième commissaire.

« On se trouve ici en présence de deux concurrents dont les travaux se rapportent à deux objets bien distincts, visés par le fondateur du prix, savoir : 1° « avoir fait faire un progrès à l'astronomie »; 2° « avoir contribué à répandre le goût et la connaissance de cette science dans le pays ».

L'un, M. P. Stroobant, docteur en sciences, est un astronome professionnel; il présente des travaux personnels de science proprement dite. L'autre, M. A. Boutquin, chef de division à l'Administration des Télégraphes, a consacré ses loisirs à un exposé de vulgarisation des sciences physiques, donnant ainsi un témoignage de l'intérêt qu'éveille aujourd'hui, chez toutes les personnes d'une culture générale suffisante, la diffusion de ces sciences où l'astronomie occupe la première place.

Les quatre notices publiées par M. Stroobant dans les *Annuaires* de l'Observatoire, de 1900 à 1903, entrent dans le cadre du concours. La première concerne la question fondamentale de la détermination de la parallaxe solaire (plan d'observations de la nouvelle petite planète Éros). La seconde étudie d'une manière approfondie et compétente la question de la détermination exacte de l'équation personnelle. La troisième, même en n'accordant qu'un poids modeste à l'explication élémentaire des corrections de la lunette méridienne qu'elle contient, en acquiert un très grand par son travail d'ensemble sur les mires, chose qui, je pense, serait difficile à trouver, avec un caractère aussi complet, dans d'autres ouvrages. La quatrième notice, enfin, peut être regardée comme un ouvrage de vulgarisation, puisqu'elle renferme, sous une forme facilement

accessible au public, l'explication des termes astronomiques les plus usités.

Le *Précis d'astronomie pratique* (destiné aux ingénieurs plutôt encore qu'aux astronomes) est une publication indépendante, connue et répandue dans le public belge. Enfin, le petit travail d'érudition sur la détermination astronomique d'une date historique aurait, je pense, été particulièrement apprécié par le regretté fondateur du prix lui-même, dont les tendances et le goût pour cet ordre de recherches étaient assez connus.

Le rapport du premier commissaire a donné un aperçu suffisant de l'essai du second concurrent (1), essai de vulgarisation bien fait sans doute (à part une forme parfois négligée), mais qui n'est lui-même qu'une simple coordination de lectures d'ouvrages et de revues de vulgarisation.

Les ordres différents auxquels appartiennent les travaux présentés par les deux concurrents éliminent en quelque sorte d'eux-mêmes leur appréciation par comparaison directe. On est donc ramené à examiner la manière dont ils satisfont, chacun pour sa part, à la clause qui lui correspond dans la fondation du prix.

La première clause : « avoir fait faire quelque progrès à l'astronomie », peut s'interpréter, soit :

a) En tant que concernant un résultat (comme une découverte d'observation) ayant notoirement attiré l'attention du public; soit

b) En tant qu'elle vise un ensemble de travaux ayant une valeur intrinsèque au point de vue de la science astronomique.

---

(1) Je ferai observer, pour relever une critique défavorable du premier commissaire, que l'auteur ne cherche nullement à ravaler Galilée; il cherche simplement à revendiquer les droits d'un de nos illustres compatriotes, Simon Stévin.

La seconde clause : « avoir contribué à répandre le goût et la connaissance de cette science dans le pays », ne peut au contraire s'envisager que dans le point de vue *a*) d'un fait de notoriété publique, appelant de lui-même une récompense.

Or, il ne semble pas que dans ce point de vue *a*), d'ailleurs unique pour la seconde clause, aucun des deux concurrents soit autorisé à revendiquer le prix. Ce n'est pas sur ce terrain que prétend lutter le premier ; et quant au second, comment décerner un prix pour « avoir contribué à répandre le goût et la connaissance de l'astronomie dans le pays », à un travail qui est si peu connu du public qu'il n'est pas même encore imprimé, et que ce public, en dehors peut-être du cercle de relation immédiate de l'auteur, ignorait jusqu'à son existence ?

Il paraît donc que, tout compte fait, il ne reste qu'à envisager, et cela au compte exclusif du premier concurrent, le point de vue *b*), relatif à la première clause, point de vue dans lequel ses travaux satisfont incontestablement à l'intention du donateur.

Quoique le travail du second concurrent ne satisfasse pas, en fait, aux termes de la clause qui le concerne dans la donation, je ne serais certainement pas éloigné de me rallier, au moins partiellement, à l'appréciation favorable du premier commissaire, en proposant de décerner *à titre d'encouragement* à ce second concurrent une part, d'ailleurs judicieusement proportionnée, du prix, si ce prix pouvait être partagé. Mais ici encore le règlement s'y oppose.

J'ai donc l'honneur de proposer à l'Académie de décerner le prix à l'ensemble des travaux présentés par M. P. Stroobant. »

—

Rapport de M. C. Le Paige, troisième commissaire.

« Le rôle du troisième commissaire, dans l'appréciation actuelle des mémoires présentés pour le prix Mailly, se trouve cette fois particulièrement délicat.

Les travaux soumis à la Commission consistent en un travail de M. A. Boutquin, intitulé : *Entretiens sur le monde physique,* et en une série d'études publiées par M. P. Stroobant.

L'honorable premier commissaire, M. Folie, propose d'allouer le prix à M. Boutquin; notre savant confrère M. Lagrange propose au contraire de le décerner à M. Stroobant. Les avis de nos deux confrères, bien que diamétralement opposés, montrent donc que l'Académie se trouve en présence de mémoires sérieux, dignes l'un et l'autre de recevoir des encouragements.

Je ne contredirai point à cette appréciation dans son ensemble.

Les *Entretiens sur le monde physique* dénotent, chez l'auteur, une connaissance complète de la littérature scientifique, un effort considérable pour réunir, sous une forme généralement simple, les résultats obtenus dans l'étude de l'univers. Ils ont coûté certainement des recherches nombreuses et révèlent des lectures étendues.

Les travaux de M. Stroobant touchent à un grand nombre de questions d'astronomie; ils sont écrits avec clarté, précision et révèlent, ce que l'on pouvait préjuger, la pratique continue des instruments et des méthodes.

D'un autre côté, l'article 4 des conditions du concours exclut toute pensée de partage du prix.

Une première question se présente : celle de savoir si les ouvrages présentés rentrent dans la catégorie de ceux que notre regretté confrère a eus en vue.

Le prix doit être décerné à celui qui, *dans la période,* aura fait faire quelque progrès à l'astronomie ou aura contribué à en répandre le goût et la connaissance dans le pays.

Le travail de M. Boutquin ne peut, me semble-t-il, être rangé dans la première catégorie.

L'auteur n'a eu pour but que de condenser, sous une forme simple, les découvertes faites dans l'étude de l'univers.

Sans nul doute, ce travail, très estimable, gagnerait beaucoup à une revision complète. Dans son ensemble, il devrait, me semble-t-il, être condensé : l'ordre pourrait y être meilleur. On sent trop que les « entretiens » de M. Boutquin ont été rédigés, en quelque façon, au fur et à mesure que l'auteur pénétrait davantage dans la connaissance de son sujet; il ne le domine pas assez complètement pour mettre chaque chose à sa place et lui donner un développement en harmonie avec son importance.

Je suis persuadé que M. Boutquin, s'il le voulait, pourrait donner une valeur beaucoup plus grande à son œuvre.

De plus, sous la forme actuelle, ce travail a-t-il répondu à la pensée d'Éd. Mailly? A-t-il pu, en effet, répandre dans le pays le goût et la connaissance de l'astronomie?

Publié sous une forme un peu provisoire, il n'est pas accessible à quiconque voudrait se le procurer : c'est dans un cercle un peu intime qu'il s'est répandu.

J'ai donc lieu de partager l'avis de notre honorable

confrère M. Lagrange, et tout en engageant fortement M. Boutquin à reprendre son travail, à lui donner une forme meilleure qui accroîtra sa valeur et son influence, je ne puis proposer de lui accorder le prix.

Dans quelle catégorie faut-il ranger les publications de M. Stroobant?

Les nos 1, 2, 3 et 4 sont extraits de l'*Annuaire* de l'Observatoire royal.

Je suis loin de nier qu'ils aient ajouté à l'intérêt de cette publication.

Dans la première étude, M. Stroobant a reproduit, en en facilitant l'emploi, l'éphéméride de la planète Éros calculée par M. Milosévich; il a déterminé, pour l'intervalle de temps auquel s'étend cette éphéméride, les ascensions droites et les déclinaisons d'étoiles qui serviront d'étoiles de comparaison et construit des cartes qui faciliteront l'emploi de ses tableaux. Sans doute, le travail considérable auquel il s'est livré pouvait être utile aux astronomes qui se sont attachés à l'observation d'Éros, et cette étude était parfaitement à sa place dans l'*Annuaire* de l'Observatoire; il me paraît néanmoins qu'il ne rentre dans aucune des deux catégories fixées par Mailly.

L'étude sur la détermination des positions absolues en astronomie est un résumé succinct des méthodes indiquées pour déterminer l'équation personnelle.

Cette question a fait l'objet de recherches approfondies, et M. Stroobant a trouvé en M. Gonnessiat un prédécesseur qui a consacré à ce problème des travaux importants et originaux.

M. Stroobant avait d'ailleurs contribué par ses travaux personnels à l'étude de la question, et cette note contient le résumé des résultats auxquels il est parvenu.

Cette étude pourrait donc se ranger dans la première catégorie si les recherches de M. Stroobant avaient été faites dans la période actuelle.

Je passerai rapidement sur l'*Explication des termes astronomiques*.

Les lecteurs de l'*Annuaire* peuvent être parfois rebutés par la rencontre de termes techniques qui ne présentent pas à leur esprit un sens bien clair. M. Stroobant a fait œuvre utile en s'astreignant à donner sous une forme claire, concise et dans l'ordre d'un dictionnaire, l'explication de ces termes.

La *Mesure de l'ascension droite des astres et l'usage des mires méridiennes* se rattache au travail sur la détermination des positions absolues.

Je ne sais s'il était utile de développer aussi longuement les formules donnant les corrections instrumentales. Quelques formules trigonométriques contiennent la solution complète : elles eussent suffi pour les astronomes, en les supposant nécessaires. Les démonstrations élémentaires n'auront guère d'utilité pour le lecteur ordinaire.

M. Stroobant nous le dit au début : il a entrepris cette étude sur la construction des mires pour former un projet qui pût servir à l'édification de mires à l'Observatoire d'Uccle.

On trouve exposés dans son travail non seulement les procédés généraux de détermination des erreurs instrumentales, mais les moyens mis en œuvre dans divers observatoires pour obtenir aussi exactement que possible l'ascension droite des astres et les résultats que l'on a déduits de l'étude des mires.

Ce n'est pas pour la raison que donne M. Folie que je me refuse à ranger le travail de M. Stroobant parmi ceux

qui rentrent dans la première catégorie de recherches visées par Mailly.

Les mires n'ont jamais servi et ne pourront jamais servir qu'à suppléer au défaut momentané d'observations des circompolaires. L'astronome a toujours déterminé et devra toujours déterminer la position de ses mires d'après les observations et non pas faire ses observations d'après ses mires.

Mais le travail de M. Stroobant contient-il quelque aperçu nouveau? Je ne le crois pas. Est-il de nature à être compris par un lecteur non initié aux observations et à faire naître le goût de l'astronomie? Je ne le pense pas davantage.

Nul doute qu'écrite pour présenter un plan de construction des mires à l'Observatoire d'Uccle, l'étude de M. Stroobant contient tout ce qu'il était nécessaire de faire connaître, que sa lecture est même utile et agréable aux astronomes qui n'auraient pas eu le temps de lire les mémoires nombreux auxquels notre savant collègue de Bruxelles a emprunté les renseignements qu'il a condensés.

Le *Précis d'astronomie pratique* fait partie de l'Encyclopédie scientifique des aides-mémoire.

Je ne discuterai pas trop la question de savoir si le titre d'astronomie pratique est bien celui qui convenait.

Mais le but même poursuivi me semble exclure l'ouvrage du concours : c'est un aide-mémoire. Il suppose chez le lecteur une connaissance du sujet qui, en quelque point particulier, a pu s'effacer.

Il ne suppose pas un lecteur qui veut acquérir une connaissance même superficielle de l'astronomie. Il ne contribuera donc point à répandre le goût de la science.

On n'y cherchera pas non plus — et ce n'est d'ailleurs pas le but que M. Stroobant s'est proposé — des recherches nouvelles.

Je regrette que toutes les publications de M. Stroobant ne présentent pas le même genre d'intérêt que sa petite note sur la détermination de l'époque où vivait Julien de Laodicée.

Mettant à profit sa connaissance complète des théories astronomiques, utilisant judicieusement les quelques données, fort maigres, d'un commentateur grec, M. Stroobant est parvenu à calculer l'année et en quelque façon le jour où les observations rapportées ont été faites.

Il a mis aussi hors de doute l'authenticité de ces observations et fixé d'une façon certaine l'époque où vivait leur auteur.

Cette note très intéressante, outre sa valeur propre, qui permet de fixer un point d'histoire littéraire, serait bien de nature à faire naître chez le lecteur le désir de connaître une science qui permet, sur quelques lignes, de déterminer avec une précision aussi grande la date d'une observation. Elle satisferait donc à la fois aux diverses conditions imposées par Mailly. Il ne me semble pas néanmoins qu'isolée elle ait assez d'importance pour justifier l'octroi du prix.

Pour conclure enfin ce rapport un peu long, je crois que les travaux présentés au concours, malgré leur intérêt, ne rentrent pas dans les catégories fixées d'une manière très absolue par Éd. Mailly, et je propose à l'Académie de décider qu'il n'y a pas lieu de décerner le prix. » — Adopté.

PRIX LOUIS MELSENS

POUR LA CHIMIE OU LA PHYSIQUE APPLIQUÉES

(Première période, 1er juillet 1900 – 30 juin 1904.)

Rapport collectif de la Commission (MM. L. Henry, W. Spring et P. De Heen).

« Un ouvrage a été soumis au jugement de la Classe des sciences en vue du prix Melsens; c'est une autographie d'un cours complet de chimie théorique et appliquée fait par M. Puttemans à l'École industrielle de Bruxelles.

Après avoir pris connaissance de cet ouvrage, la Commission s'est demandé si elle se trouvait bien devant un travail répondant aux intentions de la fondatrice du prix, ainsi qu'aux usages et aux traditions de l'Académie dans la matière. Elle a pensé que les conclusions qu'elle formulerait, aujourd'hui qu'il s'agit pour la première fois d'un jugement de concours pour le prix Melsens, pourraient faire *jurisprudence* dans la suite et qu'il était, en conséquence, de son devoir de poser la *question préalable*.

Jusqu'à présent, l'Académie a toujours regardé les prix dont elle dispose comme devant servir à encourager ou à récompenser des travaux originaux, c'est-à-dire des travaux qui augmentent le patrimoine de la science, plutôt que des livres dont la publication peut trouver sa récompense ailleurs. C'est sans doute parce que la Classe des sciences a regardé ce point comme acquis, qu'elle a jugé superflu, lorsqu'elle a rédigé le règlement du prix Melsens, de s'écarter de la formule adoptée déjà pour d'autres règlements semblables et de dire explicitement que les ouvrages d'ordre bibliographique ne

seraient pas admis à concourir. En se rapportant d'ailleurs à ses traditions, l'Académie répond certainement le mieux aux vœux qu'aurait exprimés Melsens lui-même en semblable occasion, lui dont toute l'activité s'est dépensée dans les recherches du laboratoire.

Or l'ouvrage qui nous est envoyé est, comme nous l'avons dit, un *cours de chimie,* c'est-à-dire un résumé fait, au point de vue didactique, de l'état de la science au moment présent. L'auteur a fait preuve d'érudition, de jugement, et il a produit une œuvre incontestablement utile à ses élèves. Mais nous n'avons pas affaire à un ouvrage qui se rapporte à l'un de ces nombreux problèmes que la chimie appliquée pose aujourd'hui et qui en prépare la solution quand il ne la donne pas; nous sommes en présence d'une œuvre de bureau et non de laboratoire. Elle ne nous paraît donc pas se trouver dans les conditions que la Classe des sciences a toujours exigées pour les prix qu'elle confère.

Nous ajouterons qu'il est même à désirer que l'Académie ne s'écarte pas des errements qu'elle a toujours suivis, parce que, les livres se faisant avec des livres, il pourrait arriver qu'elle se trouvât en présence de compilations pour lesquelles les intérêts de la science ne seraient que chose secondaire.

Nous pensons donc qu'il n'y a pas lieu de décerner le prix Melsens à l'ouvrage qui nous a été remis, non à raison d'un défaut de mérite, mais parce que, par sa nature même, il ne se trouve pas dans les conditions du concours. » — Adopté.

RAPPORTS.

Sur l'avis de M. Dewalque, la Classe vote l'impression au *Bulletin* d'un travail (avec figures) de M. Gius. Cesàro : *Contribution à l'étude de quelques minéraux.*

— Sur la proposition de M. De Heen, la Classe décide le dépôt aux archives d'un travail de M. Boëns : *Aperçus nouveaux sur la façon dont l'électricité statique se comporte dans les corps conducteurs en général et dans une sphère creuse en particulier.*

Quelques expériences sur l'attraction des Abeilles par les fleurs; par Joséphine Wery.

Rapport de M. Plateau, premier commissaire.

« Ma position comme rapporteur est, cette fois, très délicate; en effet, le travail qui nous est soumis a été entrepris dans le but de contrôler mes recherches déjà nombreuses sur l'attraction des Insectes par les fleurs, et les conclusions que l'auteur croit devoir formuler sont, dans les grandes lignes, en opposition avec les miennes. Je suis donc à la fois juge et partie.

Dans ces conditions, toute critique des procédés et des idées de Mlle Wery risquerait d'être soupçonnée de partialité consciente ou inconsciente. C'est pourquoi je m'abstiendrai de porter un jugement quelconque sur le fond de cette notice, laissant à mon savant confrère M. Errera, deuxième commissaire, sur les conseils duquel les expériences ont été faites, le soin, s'il le trouve utile, de formuler ses appréciations.

Je me bornerai donc à faire une observation sur la forme du travail. Celui-ci débute par un historique beaucoup trop long.

Des historiques très complets ont été publiés plusieurs fois dans ces dernières années, et il suffisait dès lors d'exposer en quelques pages l'état actuel de la question.

Comme conclusions, je sais gré à l'auteur de la modération avec laquelle il signale les désaccords entre ses résultats et les miens; je trouve le travail de Mlle Wery très intéressant et je propose à la Classe des sciences d'en décider l'impression. »

—

Rapport de M. Errera, second commissaire.

« Le mémoire qui nous est soumis commence par un aperçu historique : il me paraît utile parce qu'il tient compte des derniers travaux, et ceux-ci sont, je pense, appréciés avec équité. Le savant premier commissaire trouve toutefois cette partie trop longue, et je crois, avec lui, qu'on y pourrait faire quelques coupures. Peut-être aussi sa modestie s'est-elle alarmée des éloges que l'auteur lui adresse, éloges d'autant plus significatifs que les conclusions des recherches de Mlle Wery ne concordent guère avec celles que M. Plateau a déduites de ses propres expériences. Mais ce légitime hommage ne saurait, sans injustice, disparaître de l'introduction historique, et ce n'est point là-dessus que pourront porter les suppressions éventuelles.

Pour le reste, je n'ai qu'à me joindre à mon savant confrère pour déclarer les recherches de Mlle Wery fort intéressantes et en proposer l'insertion dans le *Bulletin* de la séance. » — Adopté.

COMMUNICATIONS ET LECTURES.

Première détermination des constantes de la libration terrestre; par F. Folie, membre de l'Académie.

Dans la note que j'ai lue dernièrement à l'Académie, j'ai fait remarquer que si je prenais la somme des déviations atteintes par un pendule libre à douze heures d'intervalle, j'éliminais presque entièrement les déviations périodiques de la verticale et mettais ainsi mieux en évidence le caractère semi-diurne des mouvements apparents du pendule.

La même remarque m'a servi à tenter la détermination des constantes de la libration terrestre au moyen des observations du 13 au 16 août dernier, dont voici le tableau original.

Observations de M. l'ingénieur Rouma, faites à Liége du 13 au 16 août 1904 (*).

	H.	*l.*		H.	*l.*
13 août	20	30mm	15 août	0 30m	29mm
	21	28		4 45	11
	22	23		6	8
	23	17		7	4

(*) Dans le diagramme de la note qui précède (*Bull. de l'Acad. roy. de Belgique* [Classe des sciences], nº 8, p. 949, 1904), j'ai diminué de 20 unités chacune des lectures, en vue de la symétrie. On verra, par la résolution suivante, qu'elles auraient plutôt dû être diminuées de 23 unités.

	H.	l.		H.	l.
14 août	0 20m	12mm	15 août	8 20m	5mm
	2 10	7		9	9
	3 30	3		10	14
	5 15	−2		11	20
	6 30	−2		12	26
	7	−2		13	32
	8	−2		14	39
	9	−1		15	44
	9 45	5		16	45
	11	20		17	45
	12	28		18	43
	1	34		19	41
	2	37		20	39
	3	41		22	32
	4	43	16 août	0 30	22
	5	45		5	5
	6	45		6	0
	7 15	43		7	0
	8 5	40		8	−5
	9	39		9	−3
	10	35		10	0
	11	31			

Les constantes de la libration terrestre sont les mêmes que celles de la nutation diurne, à cette différence près que, comme je n'ai pas tenu compte du frottement, qui diminue certainement les accélérations de l'écorce, le pendule fournira un coefficient ν plus faible que celui de la nutation diurne.

La vitesse v du pendule, correspondant à une accélé-

ration Δn de la vitesse angulaire de l'écorce, est $r\Delta n$; nous l'avons trouvée égale à

$$\alpha\sqrt{g\rho} = \pm 6\alpha$$

pour

$$\rho = 3^{m}67.$$

D'où

$$\alpha = \frac{1}{6} r\Delta n = 49\frac{\Delta n}{n}$$

pour Liége. Et l'arc correspondant a sera égal à α. 3670 millimètres. Le grossissement employé étant de 76, la lecture l sera $76a = 76 \times 3670 \times 49\frac{\Delta n}{n}$.

Or,

$$\frac{\Delta n}{n} = \nu\{0.5\cos 2\varphi + 4.16\cos(2☾ - 2\varphi) + 1.85\cos(2\odot - 2\varphi)\},$$

où ν désigne le coefficient de la nutation diurne;

$$\varphi = L + \tau = L + S_0 + H = L_0 + H,$$

L étant la longitude orientale du premier méridien, S_0 l'heure sidérale à minuit moyen, H l'heure de l'observation en temps civil. On peut tolérer ici la légère incorrection de cette formule et même prendre, une fois pour toutes, S_0 égal à $21^{h}30^{m}$, correspondant au 15 août.

Pour obtenir ν en secondes d'arc, on devra diviser le premier membre par $\sin 1''$; on trouvera alors, en faisant $76 \times 3670 \times 49 \sin 1''$ ou 66.3 égal à c; $c\nu \sin 2L_0 = x$; $c\nu\cos 2L_0 = y$:

$$l = [-0.5\sin 2H + 4.16\sin(2☾ - 2H) + 1.85\sin(2\odot - 2H)]x$$
$$+ [0.5\cos 2H + 4.16\cos(2☾ - 2H) + 1.85\cos(2\odot - 2H)]y - z,$$

z désignant la correction du zéro de l'échelle.

En appliquant cette équation à chacune des observations originales, et en en prenant les sommes deux à deux à douze heures d'intervalle, j'ai obtenu les 35 équations suivantes, dans lesquelles $2z$ est remplacé par w :

$$10.91\,x + 0.99\,y - w = 28$$
$$9.96\,x + 4.43\,y - w = 27$$
$$7.05\,x + 7.86\,y - w = 28$$
$$1.41\,x + 10.59\,y - w = 37$$
$$-\,5.79\,x + 9.63\,y - w = 43$$
$$-\,10.54\,x + 2.08\,y - w = 44$$
$$-\,8.63\,x - 5.67\,y - w = 45$$
$$-\,1.97\,x - 8.99\,y - w = 43$$
$$3.13\,x - 0.11\,y - w = 42$$
$$7{,}95\,x + 0.69\,y - w = 41$$
$$9\,93\,x + 2.95\,y - w = 38$$
$$9.96\,x + 2.27\,y - w = 38$$
$$8.08\,x + 6.18\,y - w = 40$$
$$3.25\,x + 9.44\,y - w = 51$$
$$-\,4.05\,x + 8.65\,y - w = 60$$
$$-\,4.49\,x - 8.34\,y - w = 56$$
$$0.71\,x - 0.50\,y - w = 53$$
$$5.84\,x + 0.08\,y - w = 47$$

$$9.15\,x + 2.73\,y - w = 45$$
$$9.41\,x + 0.24\,y - w = 48$$
$$8.05\,x + 4.76\,y - w = 49$$
$$4.74\,x + 8.00\,y - w = 51$$
$$-\,2.03\,x + 8.86\,y - w = 58$$
$$-\,5.35\,x - 7.18\,y - w = 56$$
$$-\,2.46\,x - 7.36\,y - w = 51$$
$$3.15\,x - 8.07\,y - w = 45$$
$$7.34\,x - 4.17\,y - w = 44$$
$$7.61\,x + 1.11\,y - w = 56$$
$$2.88\,x + 5.34\,y - w = 51$$
$$-\,2.53\,x + 0\,22\,y - w = 50$$
$$-\,4.11\,x - 5.86\,y - w = 43$$
$$-\,0.24\,x - 7.25\,y - w = 41$$
$$1.43\,x - 4.67\,y - w = 34$$
$$3.78\,x - 4.72\,y - w = 33$$
$$6.41\,x - 0.49\,y - w = 32$$

La résolution de ces équations a donné

$$x = -\,0.483,\ y = 0.130,\ w = -\,45.4,$$

donc $z = -\,22.7$.

Par

$$\operatorname{tg} 2L_0 = \frac{x}{y},$$

on trouve

$$2L_0 = \pi + 74^\circ 54'; \; L_0 = 127^\circ 27',$$

et

$$L = L_0 - S_0 = L_0 + 2^h 30^m = 10^h 50^m \text{ E. de Greenwich.}$$

Puis

$$c\nu = \sqrt{x^2 + y^2} = \frac{x}{\sin 2L_0} = \frac{y}{\cos 2L_0} = 0.50,$$

d'où

$$\nu = 0''0075.$$

La longitude du premier méridien tombe entre les mêmes limites que toutes celles que j'ai déterminées astronomiquement. La constante ν est peut-être huit fois plus faible que celle de la nutation diurne, comme nous l'avions prévu.

Quelques sceptiques, qui doutent encore de la nutation diurne, malgré les nombreuses déterminations astronomiques que j'en ai faites, attribueront peut-être, comme ils l'ont fait pour celles-ci, les nouvelles concordances que je viens d'obtenir, à un heureux hasard. Les esprits justes et droits verront dans ces dernières, et dans les diagrammes que mon pendule a fournis depuis un an, une preuve *purement physique* et indéniable de la nutation diurne.

—

Contribution à l'étude de quelques minéraux; par G. Cesàro, professeur à l'Université de Liége.

Sommaire : *Laurionite.* Formes 292, 141 et 230. Dureté et clivages. Propriétés optiques. — *Malachite.* Polychroïsme de cette espèce. Forme $\bar{4}23$ dans les cristaux du Katanga. — *Calcite.* Sur deux incidences qui sont sensiblement égales entre elles dans tous les rhomboèdres. — *Azurite.* Forme $\bar{1}31$ à Chessy; existence probable dans les cristaux de la même localité de $\bar{1}92$ voisine de $\bar{2}.18.3$ de Broken-Hill. — *Stibine.* Macle avec $h^2 = 310$ pour plan de jonction dans les cristaux du Japon. — *Jarosite.* Dimensions du rhomboèdre primitif et signe optique. — *Gypse.* Forme $a_{1/2} = \bar{3}14$ dans les cristaux de Bellisio. — *Libéthénite* de Viel-Salm. — *Puchérite.* Propriétés optiques. — *Plagioclases.* Angle des axes optiques déduit des biréfringences de deux lames normales aux bissectrices.

* * *

Laurionite. — Cette espèce, à laquelle on assigne la formule Cl — Pb — OH, a été trouvée en Grèce (*) sous la forme de petits cristaux orthorhombiques limpides, accompagnés de phosgénite et d'anglésite. En partant des données de Dana :

$$mg^1 = 53°46' \qquad e^2g^1 = 67°25'30'',$$

(*) Köchlin, *Ann. Mus. Wien,* 2, 188, 1887; *in Dana :* Descr. minér., 1896, p. 171.

on arrive à

$$\log a = \bar{1},8649755 \qquad a = 0,73278$$

$$\log c = \bar{1},9198601 \qquad c = 0,8315$$

Formes 292 et 230. — Dans un premier échantillon, les faces du rhomboctaèdre terminal (fig. 1) faisaient avec $g^1 = 010$ un angle de 22°22′ et entre elles, sur g^1, un angle de 32°58′; de ces incidences on tire :

$$\frac{h}{k} = 0,225 \text{ et } \frac{l}{k} 0,228 \text{ (*)},$$

de sorte que le rhomboctaèdre a pour notation :

$$292 = b^{\frac{1}{11}} b^{\frac{1}{7}} g^{\frac{1}{2}}.$$

Un cristal provenant du même échantillon portait dans la zone verticale, outre $m = 110$ et $g^3 = 120$, une face faisant 42° avec g^1; elle appartient au prisme $g^5 = 230$ (**).

Forme $141 = b^{1/5} b^{1/3} g^1$. Dans un autre échantillon, les cristaux, plus petits, sont aussi terminés par une face de la forme $1k1$, comme l'indique l'angle $\alpha = 41°$ (fig. 1)

(*) Ces résultats compliqués m'avaient d'abord fait douter de la justesse des paramètres de Köchlin, mais les formes qui suivent montrent que ces paramètres sont exacts.

(**) Une image assez indécise, correspondant à un angle de 63° à 65° avec g^1, indique la présence d'une face $h^5 = 320$, renseignée dubitativement par Dana.

que l'arête culminante sur h^1 fait avec la verticale (*), mais l'angle que les faces font avec g^1, au lieu d'être de 22° comme dans les cristaux précédents, devient

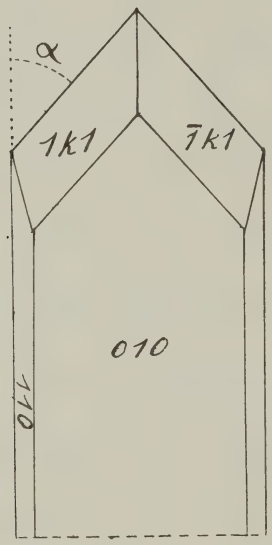


Fig. 1.

de 24° à 25°, et correspond nettement à 141 (**), ce qui est confirmé par une autre incidence.

Je n'ai rencontré sur aucun des cristaux que j'ai mesurés la forme 151 $= b^{1/6}\, b^{1/4}\, g^1$ indiquée par Köchlin; elle correspondrait à un angle d'environ 20° avec g^1.

(*) Calculé : 41°23',5; cet angle peut être mesuré au microscope avec beaucoup de précision.

(**) Cette forme est indiquée dubitativement par Dana.

ANGLES.	Avec 100		Avec 010.		Avec 001.		Avec 120.		Avec $\bar{1}20$.	
	Calculé.	Mesuré	Calculé.	Mesuré.	Calculé.	Mesuré.	Calculé.	Mesuré.	Calculé	Mesuré.
141	71°54′	71°50′	24°27′	24°47′	74°7′	»	»	»	»	»
292	73°40′	73°31′	22°1′	22°22′	75°39′	»	22°26′	21°31′	52°36′	52°46′
151	75°8′	»	19°59′,5	»	75°56′	»	»	»	»	»
230	»	»	42°18′	42°	»	»	»	»	»	»
320	»	»	63°58′	64°	»	»	»	»	»	»

Dureté. Clivages. — La laurionite est profondément rayée par le spath; *sa dureté paraît être un peu supérieure à* 2 (*); les cristaux aplatis suivant $g^1 = 010$ sont assez bien flexibles suivant l'horizontale de ce plan; cette espèce rappelle le gypse par sa plasticité. Les cristaux peuvent être divisés en une suite d'aiguilles verticales indiquant l'existence de plusieurs clivages dans la zone verticale; au goniomètre, les aiguilles de clivage donnent deux images nettes répondant à des faces faisant entre elles un angle d'environ 72°; lorsque g^1 subsiste dans l'aiguille, les images se montrent successivement à 54° et à 126° de cette face. *Les clivages principaux sont donc parallèles aux faces* m = 110 *du prisme primitif.* Le clivage $h^1 = 100$ indiqué par Köchlin existe aussi, mais il est peu développé : l'image à 90° de g^1, lorsqu'elle existe, est à peine perceptible. Le clivage *m* peut être aisément produit comme il suit : sur un cristal appuyé par sa large face g^1 (fig. 1) sur une lame de verre, on applique, au milieu de cette face, une pointe en acier; le cristal se fend verticalement, la moitié des faces terminales disparaît, mais la verticale apparaît au microscope bordée par un biseau.

Propriétés optiques. — Le plan des axes optiques est g^1, la bissectrice positive est dirigée suivant la verticale, la négative est normale à h^1. L'indice, déterminé par la mesure du déplacement de l'image à travers le cristal, a été trouvé d'environ 2,3. *En lumière polarisée, entre nicols parallèles,* les aiguilles de laurionite, incolores lorsqu'un

(*) Et non de 3 à 3,5, comme l'indique Dana.

de leurs axes est dirigé suivant la section commune des nicols, *se teintent en gris bleuâtre sombre lorsque les axes sont à 45° de cette section. La teinte, indépendante de l'épaisseur du cristal, n'est pas une teinte de polarisation* (*). La biréfringence est difficile à mesurer, parce que, à cause de la hauteur de cet élément, les aiguilles sont ou trop épaisses pour être amenées à un violet sensible par compensation (**), ou trop minces, le plus léger écart dans la mesure de l'épaisseur amenant, dans ce cas, une variation excessive dans la valeur obtenue pour la biréfringence. Ainsi, dans un essai dans lequel le cristal avait une épaisseur de 1,5 à 2 (***), le retard du biseau de quartz étant donné par

$$R_q = 170,3 - 2,3\,n,$$

on a obtenu le violet 57,5 par soustraction pour $n = 35$ et le violet 86,6 entre nicols parallèles pour $n = 48$. Ces résultats donnent pour le retard respectivement 147,3 et 146,5. On voit que le retard est susceptible d'être mesuré avec beaucoup de précision, mais, suivant que l'on adopte pour l'épaisseur 1,5 ou 2, on arrive pour la biréfringence à 98 ou à 73. Cet essai, tout en montrant que la biréfringence de la laurionite est considérable, donne à peine le chiffre des dixièmes de la différence des indices

---

(*) La mendipite et l'anglésite présentent un phénomène analogue.

(**) Dans des cristaux si peu larges, le compensateur de Babinet est impossible à employer; quant au *comparateur* de Michel Lévy, il ne peut servir que si le cristal présente une teinte de polarisation comparable, ce qui n'est pas le cas. Ma méthode de la réduction à un violet sensible donne de bons résultats (*Bull. de l'Acad. roy. de Belgique*, 3e sér., t. XXVI, nº 8, 1893, p. 208).

(***) Les épaisseurs sont exprimées en centièmes de millimètre, les biréfringences en millièmes et, par conséquent, les retards en cent-millièmes de millimètre.

extrêmes. Il en est de même pour presque tous les essais que j'ai effectués; voici ceux dans lesquels l'épaisseur a pu être mesurée avec assez d'exactitude :

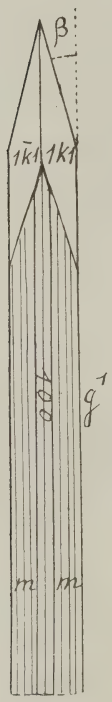


Fig. 2.

e	$R - R_q$	n	R_q	R	$n_c - n_a$
2 1/4	112,8	31	99	211,8	—
—	57,5	6,5	155,4	212,9	94 5
—	86,6	19	126,6	213,2	—
2 1/3	112,8	23,5	116,2	229	98
2 1/4	112,8	27,5	107	219,8	98

Biréfringence de h^1. — Quoique beaucoup inférieure à celle de g^1, cette biréfringence est encore plus difficile à obtenir à cause du peu de largeur de la face h^1 (fig. 2) (*) et de la difficulté d'obtenir un cristal placé sur sa tranche; en outre les cristaux paraissent, dans ce sens, formés d'une infinité de feuillets minces et nets, prismes montrant leur arête verticale sur la tranche, configuration qui rend l'observation difficile. Le seul essai qui m'inspire une certaine confiance se rapporte à une lame d'épaisseur 4,5 et donnant un retard de 181,8; on en déduit $n_c - n_b = 40$.

(*) Les figures 1 et 2 se rapportent à 292, c'est-à-dire à $k = 4,5$. L'angle β est de 16°44′, 14°58′ ou 13°31′,5 suivant que $k = 4, 4,5$ ou 5.

Signe optique. — Si les nombres $n_c - n_a = 97$ et $n_c - n_b = 40$ étaient admis, on pourrait non seulement déterminer le signe optique de la substance, mais aussi l'angle vrai de ses axes optiques.

En effet, on démontre facilement (*) que l'angle $2V_c$ des axes optiques autour de la *bissectrice positive* est donné par

$$\frac{d'}{d} < \operatorname{tg}^2 V_c < \frac{d'}{d} \cdot \frac{2 + 4d - d'}{2 - 4d' + d},$$

relation dans laquelle $d = n_c - n_b$ et $d' = n_b - n_a$ sont les biréfringences respectives des faces normales aux bissectrices $\frac{1}{a}$ et $\frac{1}{c}$. Dans notre cas, $d = 40$, $d' = 47$ et

$$94^\circ 37' < 2\,V_c < 98^\circ 22'.$$

On en conclurait que la bissectrice aiguë, normale à h^1, est négative et que les axes font autour de celle-ci un angle de 82° à 85°. Mais l'indécision des résultats, surtout de celui relatif à la valeur de d, rend cette conclusion douteuse.

Observation sur l'orientation des cristaux de laurionite. — Les rhomboctaèdres de la laurionite étant tous de la forme $1k1$, on pourrait, en faisant tourner les cristaux de 90° autour de l'axe x (**), c'est-à-dire en changeant p en g^1 et g^1 en p, ramener ces rhomboctaèdres à la forme $11k$; ils proviendraient alors de la troncature des arêtes b du nouveau primitif (ancien 101). Il y aurait avantage, dans ce cas, à doubler le paramètre du nouvel

(*) Voir plus loin.

(**) Faire tourner de 90° la figure 2 autour de la normale au plan du dessin.

axe vertical, de sorte que l'ancien *hkl* deviendrait *h.l.2k*. Les trois rhomboctaèdres 141, 292, 151 deviendraient respectivement b^4, $b^{9/2}$ et b^5 ; les faces de l'ancienne zone verticale seraient transformées en a^m ; ainsi h^3, m, g^5 et g^3 seraient notés respectivement a^1, a^2, a^3 et a^4.

Mais la première orientation a l'avantage de prendre pour primitif le prisme de clivage.

* * *

Malachite. *Polychroïsme.* — Dans des cristaux de la mine de Likasi (Katanga) (*), j'ai observé un polychroïsme très net, que je ne trouve relaté dans aucun ouvrage. On peut observer cette propriété aussi dans les cristaux de Siegen : en brisant une lame de clivage *p* entre deux lames de verre, j'ai obtenu des sections *p* et g^1 :

Lame p. On sait que la bissectrice négative $\frac{1}{a}$ lui est sensiblement perpendiculaire ; dans la section se trouvent donc situés le grand axe $\frac{1}{c}$ de l'ellipsoïde inverse dirigé suivant la courte diagonale de la base et l'axe moyen $\frac{1}{b}$ dirigé parallèlement à l'axe binaire ; lorsque la vibration du polariseur traverse la lame suivant $\frac{1}{c}$, celle-ci se colore en *beau vert sombre,* tandis que la teinte s'éclaircit et devient *vert jaunâtre* lorsque la vibration est dirigée suivant $\frac{1}{b}$.

Lame g^1. Celle-ci contient l'axe $\frac{1}{c}$ parallèle aux traces du clivage *p* montrées par la lame et l'axe $\frac{1}{a}$ normal à

(*) Ces cristaux m'ont été donnés par M. H. Buttgenbach, qui a publié, dans les *Annales de la Société géologique de Belgique* (Mémoires, t. XXXI, p. 565, 1904), un excellent travail sur les formes cristallines de la malachite du Katanga.

ce clivage ; suivant la première direction, on obtient de nouveau la belle teinte vert sombre signalée ci-dessus, tandis que suivant $\frac{1}{a}$ la teinte devient *vert clair blanchâtre.* On voit que, conformément à la loi de Babinet, la teinte est d'autant plus sombre que la vitesse du rayon qui traverse le cristal est plus petite.

Forme $\bar{4}23$. — Les cristaux du Katanga dont j'ai parlé ci-dessus sont lamellaires et ont environ un millimètre de plus grande dimension. La figure 3 les représente en

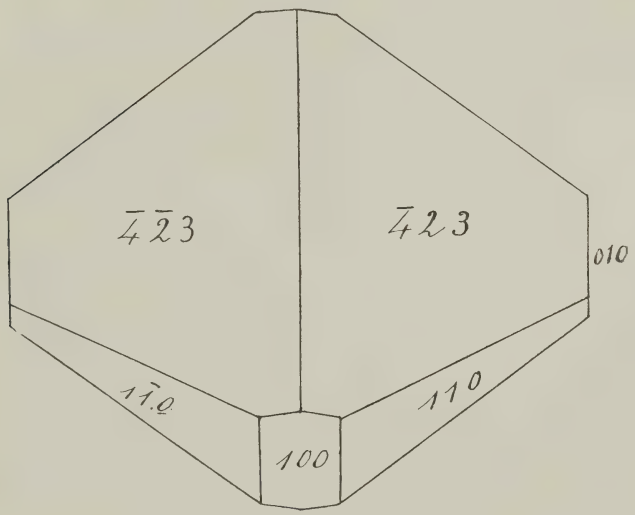


Fig. 3.

projection orthogonale sur le clivage *p* (*) ; ils sont très

(*) $a = 88$, $b = 100$, $c' = 18{,}9$.

aplatis suivant la verticale; formés essentiellement par un prisme à arête peu inclinée sur l'horizontale, ils sont bordés latéralement par m, h^1, g^1. Les faces du prisme prédominant, en général peu nettes, sont striées parallèlement au plan de symétrie. Dans un cristal, j'ai pu prendre de bonnes mesures, qui m'ont donné (*) :

Angle de la face du prisme avec $p = 39°20'$; angle de l'arête du prisme située dans le plan de symétrie $= 29°48'$. Ces incidences conduisent à

$$\frac{h}{k} = -1,985 \qquad \frac{l}{k} = 1,491,$$

c'est-à-dire à $\bar{4}23$, qui est le $\gamma = b^{1/2}\, b^{1/6}\, h^{1/3}$ de Des Cloizeaux, avec la correspondance :

Angles.	Calculés.	Mesurés.
$(\bar{4}23)$ (001)	39°21′	39°20′
$(\bar{4}23)$ $(\bar{4}\bar{2}3)$	29°37′	29°48′ (**)

Ces cristaux sont presque toujours maclés avec le plan horizontal (sensiblement a^1) en coïncidence; les faces de la zone verticale sont donc aussi en coïncidence et l'on voit miroiter simultanément les facettes h^1 des deux cristaux qui forment la macle, ainsi que m et g^1. Cette macle, identique à la macle habituelle avec h^1 pour plan de jonction, correspond au fait que les deux cristaux

(*) Pour juger si l'on a affaire aux faces m antérieures, il faut bien recourir au clivage p; l'arête h antérieure est donnée par $\widehat{mm} = 75°40'$, $\widehat{pm} = 68°7'$.

(**) Dans cette mesure, l'une des faces donnait deux images; la première correspondait à un angle de 29°50′ à 30°3′, la seconde, à une incidence de 29°32′ à 29°43′.

maclés ont le même réseau (*). La figure 4 représente la macle en projection orthogonale sur g^1 (**).

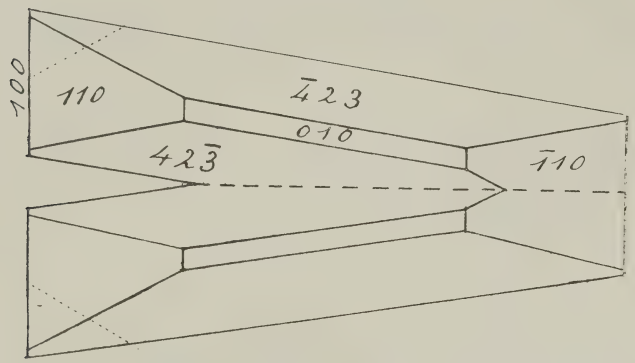


Fig. 4.

Calcite. *Sur deux angles sensiblement égaux dans tous les rhomboèdres.* — Sur un cristal du Cumberland, essentiellement formé du scalénoèdre inverse $e_{1/2}$ portant sur l'arête culminante antérieure le biseau d^2, j'ai mesuré approximativement :

$$\varphi = d^2 e_{\frac{1}{2}} \text{ adj.} = 26°30',$$

$$\psi = e_{\frac{1}{2}} e_{\frac{1}{2}} \text{ arête culm. de côté} = 26°30'$$

On peut se demander si cette égalité est due aux dimensions du rhomboèdre : on sait, en effet, que la valeur

$$s = \frac{3}{4}\frac{a^2}{c^2},$$

qui est très voisine de l'unité pour la calcite, donne à

(*) Voir *Bulletin de la Société française de minéralogie*, 1886, t. IX, p. 227.

(**) $a = 11$, $c = 5$, $\beta = 61°50'$.

son rhomboèdre de clivage beaucoup de propriétés remarquables. Le calcul qui suit prouve que : *a*) dans aucun rhomboèdre ces angles peuvent être égaux; *b*) ces angles sont sensiblement égaux dans tous les rhomboèdres.

On a

$$\cos\varphi = \frac{2s + 17}{2\sqrt{(s + 13)(s + 7)}}, \quad \cos\psi = \frac{2s + 23}{2(s + 13)}.$$

On en déduit

$$\cos^2\varphi - \cos^2\psi = \frac{27}{2(s + 7)(s + 13)^2}.$$

Cette relation prouve : 1° que l'égalité $\varphi = \psi$ est impossible pour n'importe quelle valeur de s finie; 2° que $\varphi < \psi$. Pour examiner comment varie la différence $x = \psi - \varphi$ avec s, on a

$$x = \operatorname{arctg}\frac{\sqrt{3(4s + 49)}}{2s + 23} - \operatorname{arctg}\frac{\sqrt{3(4s + 25)}}{2s + 17}.$$

La dérivée, qui peut être mise sous la forme

$$x' = -9\sqrt{3}\cdot\frac{10s + 49}{(s+7)(s+13)\sqrt{(4s+25)(4s+49)}\{(s+4)\sqrt{4s+49}+(s+7)\sqrt{4s+2}}$$

montre qu'entre $s = 0$ et $s = \infty$, x est constamment décroissant; comme pour $s = 0$, $x = 0°48'1''$ et pour $s = \infty$, $x = 0$, on en conclut que *la différence des angles dont il s'agit est inférieure à 48′ dans n'importe quel rhomboèdre.*

(*A suivre.*)

—

Quelques expériences sur l'attraction des Abeilles par les fleurs; par Joséphine Wery, étudiante à l'Institut botanique (Université de Bruxelles).

> Es bedarf offenbar noch weiterer Versuche, um über die Anlockung der Insekten durch die Blumen vermittelst des Geruchs- und Gesichtssinnes Aufschluss zu erhalten.
>
> (P. Knuth, *Blütenbiologie,* Bd I, p. 399, 1898.)

§ 1. — Aperçu historique, suivi de quelques observations inédites.

L'importance relative de la couleur et du parfum — des organes vexillaires et des effluves odorants — dans l'attraction exercée par les fleurs sur les Insectes a été très discutée. Pendant longtemps, les différents auteurs qui s'occupèrent de la biologie florale : Sprengel, Ch. Darwin, Delpino, Lubbock, H. Müller, Hildebrand, attribuèrent une importance plus grande à la couleur qu'au parfum.

Cette grande puissance attractive de la couleur expliquerait l'étonnante diversité de coloration des fleurs et aussi les multiples variations de forme et de dimensions des organes colorés, la sélection naturelle, réalisée dans cette direction, ayant eu les Insectes pour agents inconscients.

D'autres chercheurs, Nägeli, Errera et Gevaert, G. Bonnier, J. Mac Leod, J. Perez, tout en considérant la coloration des fleurs comme un facteur des plus importants,

insistèrent toutefois, plus qu'on ne l'avait fait jusqu'alors, sur la valeur attractive du parfum.

La question semblait donc bien être mise au point quand parut, en 1895, un travail de F. Plateau qui jeta quelque désarroi dans les esprits : *Comment les fleurs attirent les Insectes*, première partie (1). L'auteur y exposait une série de jolies expériences sur *Dahlia variabilis*, expériences d'où il concluait notamment que (pour les Compositacées radiées) *ni la forme ni les couleurs vives des capitules ne semblent avoir d'action attractive.*

Ce travail, qui suscita de si vives polémiques, avait — quelque valeur qu'on accorde aux conclusions — un mérite considérable : il tirait définitivement la question du domaine théorique pour la placer sur le terrain expérimental. La chose avait été tentée avant Plateau, mais les essais antérieurs procédaient plutôt du hasard que d'une méthode bien suivie et bien rigoureuse, ou, du moins, ils avaient pour objet l'étude des mœurs des Insectes plus que celle des fonctions des fleurs.

Citons l'expérience classique de Ch. Darwin (2) sur *Lobelia erinus*, d'où il conclut que la corolle colorée est sûrement le guide principal, et l'expérience de J. Anderson (3), qui vit les Abeilles négliger des Calcéolaires dont il avait supprimé les corolles.

---

(1) *Bull. de l'Acad. roy. des sciences de Belgique,* 3e sér., t. XXX, nº 11, 1895.

(2) Ch. Darwin, *The Effects of Cross and Self-Fertilisation in the vegetable Kingdom.* London, 1876, p. 420.

(3) J. Anderson, *Gardner's Chronicle,* 1853, p. 431 (cité par Darwin).

G. Bonnier (1), en 1879, soumet les Insectes visiteurs à quelques expériences : il en déduit que le rôle vexillaire attribué aux organes colorés des fleurs pourrait bien avoir été exagéré.

Mais les premières expériences systématiquement menées qui aient précédé les recherches de Plateau sont celles, bien connues, de lord Avebury (sir John Lubbock) (2). Les principaux faits qui ressortent de ses expériences sont :

1° Le miel n'exerce guère d'action attractive sur les Abeilles ;

2° Les Abeilles paraissent avoir une préférence pour la couleur bleue.

Enfin, H. Müller (3), au cours de ses soigneuses recherches sur la fécondation des fleurs par les Insectes, eut aussi recours à l'expérimentation. Ainsi (4), il plaça sous différentes plaques de verre des pétales de diverses couleurs, sur chacune des plaques il déposa une goutte

---

(1) G. Bonnier, *Les Nectaires,* étude critique, anatomique et physiologique. (Ann. Sc. nat., Bot., 6e sér., t. VIII, Paris, 1879.) — Analyse critique, *Bot. Zeit.,* 1880, p. 584.

(2) J. Lubbock, *Observations on Bees and Wasps.* (Journ. Linn. Soc., Zool., t. XII. p. 128.) — *Ants, Bees and Wasps,* 3e édit., chap. XI, p. 317, 1882. — *On the senses, instincts and intelligence of Animals, with special References to Insects.* (Intern. scientific series, vol. LXV. London, 1888.)

(3) H. Müller, *Die Befruchtung der Blumen durch Insekten.* Leipzig, 1873. — *Alpenblumen, ihre Befruchtung durch Insekten.* Leipzig, 1881.

(4) H. Müller, *Versuche über die Farbenliebhaberei der Honigbiene.* (Kosmos, Bd VI, Heft 10, Stuttgart, 1882.)

de miel et constata que les Abeilles manifestent des préférences pour certaines couleurs : donc elles les perçoivent. Dans un autre ouvrage (1), il résume plusieurs de ses observations précédentes sur *Malva sylvestris* et *Malva rotundifolia*, *Lysimachia vulgaris* (variété à fleurs grandes et voyantes, et variété à fleurs petites et ternes), *Euphrasia officinalis* (id.), *Rhinanthus major* et *Rhinanthus minor*, etc., et arrive à la conclusion suivante : *Une fleur est d'autant plus visitée par les Insectes que, toutes autres choses égales, elle est plus voyante.* Mais ses observations comparatives sur *Viola tricolor* et *Viola odorata*, sur *Convolvulus sepium* et *Convolvulus arvensis*, prouvent que les émanations odorantes exercent une action attractive sur les Insectes.

F. Plateau devait apporter dans l'étude de ce problème son ingéniosité d'expérimentation. Il montra tout le danger des raisonnements trop simplistes, à tendances anthropomorphistes. Giltay (2), dans son récent travail, le fait très bien remarquer : « Wie viel vorsichtiger muss man nun aber bei Insekten sein, deren Organisation von der unsrigen so verschieden ist. Ich betrachte es denn auch als ein grosses Verdienst Plateau's, dass er, so viel ich weiss, zum ersten Male der Frage der Anlockung seitens der Krone in detaillierter Weise näher getreten ist und darüber viele Experimente angestellt hat. »

---

(1) H. Müller, *Die Wechselbeziehungen zwischen den Blumen und den ihre Kreuzung vermittelnden Insekten.* (Schenk's Handbuch der Botanik. Bd I, p. 35, 1881.)

(2) E. Giltay, *Ueber die Bedeutung der Krone bei den Blüten und über das Farbenunterscheidungsvermögen der Insekten*, I. (Jahrb. f. wiss. Bot., Bd XL, H. 3, p. 368, 1904.)

Je crois inutile de remettre en mémoire les célèbres expériences de Plateau. Rappelons seulement les conclusions auxquelles il arrive à la fin de la cinquième partie de *Comment les fleurs attirent les Insectes* (1), et qu'il résume ainsi :

« *A*. Les Insectes recherchant du pollen ou du nectar ne sont guidés vers les fleurs qui renferment ces substances que *d'une façon très accessoire par la vue.*

» *B*. Les Insectes sont guidés d'une façon sûre vers les fleurs à pollen ou à nectar *par un sens autre que la vision et qui ne peut être que l'odorat.* »

---

(1) Félix Plateau, *Comment les fleurs attirent les Insectes. Recherches expérimentales.* (Bull. de l'Acad. roy. des sciences de Belgique, première partie, 3e sér., t. XXX, no 11, 1895; deuxième partie, 3e sér., t. XXXII, no 11, 1896; troisième partie, 3e sér., t. XXXIII, no 1, 1897; quatrième partie, 3e sér., t. XXXIV, nos 9 et 10, 1897; cinquième partie, 3e sér., t. XXXIV, no 11, 1897.)

Id., *Nouvelles recherches sur les rapports entre les Insectes et les fleurs.* (Mém. de la Soc. zool. de France. Paris, première partie, 1898; deuxième partie, 1899; troisième partie, 1900 publié en 1901.)

Id., *La vision chez l'Anthidium manicatum.* (Ann. de la Soc. entomol. de Belgique, t. XLIII, p. 452, 1899.)

Id., *Expériences sur l'attraction des Insectes par les étoffes colorées et les objets brillants.* (Ann. de la Soc. entomol. de Belgique, t. XLIV, p. 184, 1900.)

Id., *Observations sur le phénomène de la constance chez quelques Hyménoptères.* (Ann. de la Soc. entomol. de Belgique, t. XLV, p. 56, 1901.)

Id., *Observations sur les erreurs commises par les Hyménoptères visitant les fleurs.* (Ann. de la Soc. entomol. de Belgique, t. XLVI, 1902.)

Id., *Les Pavots décorollés et les Insectes visiteurs.* (Bull. de l'Acad. roy. des sciences de Belgique, no 11, p. 657, 1902.)

Les travaux ultérieurs de Plateau défendent les mêmes opinions et s'efforcent de les confirmer; dans les derniers, cependant, il fait des restrictions intéressantes. Nous y reviendrons.

Les expériences de Plateau ont été l'objet d'études critiques remarquables et ont donné l'essor à de nouvelles recherches dans cette voie. Aucun des contradicteurs de M. Plateau ne met le moins du monde en doute ses qualités d'excellent observateur, les critiques portent toutes sur la disposition de ses expériences et sur la légitimité de ses conclusions.

Chr. Schröder (1), qui, lui aussi, attribue une importance considérable au parfum, — et ce à la suite de diverses expériences, — est pourtant loin d'être aussi absolu que Plateau : il constate que des Abeilles butinant sur des *Scorzonera hispanica* sont parfaitement capables de distinguer les boutons et les capitules fanés des capitules frais et qu'elles ne commettent pas les erreurs de vision signalées par Plateau dans la *Vision chez l'Anthidium manicatum*. Il rapporte aussi dans le même travail une autre expérience : des *Syritta pipiens* négligent d'abord des *Chrysanthemum* dont les grandes fleurs radiées ont été coupées, tandis qu'ils visitent activement les *Chrysanthemum* normaux voisins. Plus tard cependant, les visites reprennent sur les capitules mutilés, grâce à de premiers essais fructueux qui se sont renou-

---

(1) Chr. Schröder, *Experimentelle Studien über den Blütenbesuch, besonders der Syritta pipiens.* (Allg. Zeitschrift f. Entomol., Bd VI, n° 12, p. 181, juin 1901.)

velés et ont servi d'exemple. « Jedenfalls, conclut-il, erscheint die Frage der Anlockungsmittel der Blüten für den Insektenbesuch nicht im Plateau'schen Sinne sicher gelöst. »

P. Knuth (1), dans l'annexe à l'introduction de son excellent ouvrage, *Blütenbiologie*, discute les données de Plateau, et, s'appuyant sur des observations de Dahl (2), de Forel et de Delpino, il infirme les appréciations du savant professeur de Gand sur le peu de netteté de la vision chez les Insectes. Il ajoute : « Zahlreiche blütenbiologische Thatsachen sprechen dafür, dass die Blumenkrone für die Anlockung der Insekten eine hervorragende Rolle spielt; warum ist denn sonst überhaupt die Blumenkrone vorhanden, warum sind die Blüten mit so verschiedenartigen bunten Färbungen ausgerüstet, wenn diese nicht der Anlockung der Insekten dienen sollen ? »

Aug. Weismann (3) ne doute aucunement que beaucoup d'Insectes ne voient les couleurs et ne soient attirés par les grandes fleurs colorées; il fonde spécialement son opinion sur les expériences de H. Müller (*Malva sylvestris*, 31 visites, — *Malva rotundifolia*, 4 visites). Citant les expériences de Plateau, il expose un essai qu'il fit lui-même avec un *Chrysanthemum* artificiel qu'il plaça au milieu de fleurs naturelles de même espèce activement visitées par des papillons diurnes. Il constata que la plu-

---

(1) P. Knuth, *Blütenbiologie*. Leipzig, première partie, pp. 390-399, 1898.

(2) Fr. Dahl, *Die Insekten können Formen unterscheiden*. (Zool. Anzeiger, XII, 1889.)

(3) Aug. Weismann, *Vorträge über Descendenztheorie*, t. I, p. 219, 1902.

part de ceux-ci passaient très près au-dessus de la fleur artificielle sans s'y arrêter, mais il en vit cependant deux se poser sur la fleur artificielle et y fouiller un moment activement avec la trompe pour s'envoler ensuite. Ils essayaient évidemment, dit l'auteur, d'y puiser le nectar qu'ils avaient trouvé dans les fleurs naturelles et ne s'envolèrent qu'après avoir constaté l'insuccès de leurs tentatives.

Aug. Forel (1), le plus ardent adversaire de Plateau, lui reproche d'avoir tiré de ses expériences des conclusions erronées, de n'avoir pas tenu suffisamment compte de la psychologie et, en particulier, de la mémoire des Insectes. Il reprend plusieurs des expériences de Plateau en les modifiant de façon à éviter les causes d'erreur de ce dernier et arrive ainsi à des résultats tout différents, prouvant que les Abeilles notamment perçoivent la forme et la couleur des objets. Il découle des expériences de Forel (comme de celles de Lubbock) que c'est bien plutôt le goût que l'odorat qui, aidé de la vue, ramène les Abeilles au miel (avec papiers colorés) et aux fleurs. L'odorat ne leur sert qu'à reconnaître le bon endroit à 2 ou 3 centimètres de distance. Son étude sur la faculté d'orientation mène Forel à cette conclusion : « L'orientation est le résultat de l'expérience des sens connus,

---

(1) Aug. Forel, *Die psychischen Fähigkeiten der Ameisen und einiger anderer Insekten.* Munich, E. Reinhardt, 1901.

Id., *Sensations des Insectes. Critique des expériences faites dès 1887 avec quelques nouvelles expériences;* troisième partie. (Rivista di Biologia generale, nos 1 et 2, vol. III, pp. 7 à 62, 1901; quatrième partie, nos 4 et 5, vol. III, p. 281, 1901.)

combinés ou non, surtout de la vue et de l'odorat, selon les cas et les espèces. Dans l'*orientation aérienne,* c'est la *vue* qui prédomine de beaucoup. Dans l'orientation terrestre, l'odorat joue souvent un rôle prépondérant, mais cède le pas à la vue chez beaucoup d'animaux, parmi lesquels les Insectes. Dans l'orientation souterraine et cavernicole, l'odorat et le toucher règnent en maîtres. »

C'est à une conclusion très proche de celle-ci qu'arrive E. Andreae (1). Il ressort, en effet, de ses expériences que les Insectes biologiquement supérieurs se laisseraient attirer par la couleur plutôt que par le parfum, tandis que cé dernier facteur serait plus efficace sur les Insectes biologiquement inférieurs. Aux premiers donc se seraient adaptées les fleurs vivement et diversement colorées, tandis que les autres, plus ternes, mais plus parfumées, résulteraient d'une adaptation aux Insectes à physiologie moins différenciée.

Il est bien intéressant de constater qu'à la suite des diverses critiques dont ses affirmations furent l'objet, Plateau lui-même voulut bien admettre qu'il avait été trop absolu. Dès 1899 d'ailleurs (2), on sent une restriction : « *J'admets parfaitement que l'Insecte puisse s'apercevoir à distance de l'existence des fleurs, soit parce qu'il voit les couleurs de la même manière que nous, soit parce qu'il perçoit un contraste quelconque entre ces fleurs et leur entourage; j'admets que, concurremment avec l'odorat,*

---

(1) E. Andreae, *Inwiefern werden Insekten durch Farbe und Duft der Blumen angezogen?* (Beihefte z. Bot. Centralbl., Bd XV, Heft 3, p. 427, 1903.)

(2) F. Plateau, *Nouvelles recherches,* deuxième partie. (Loc. cit.)

quoique à un bien moindre degré, cette perception visuelle vague puisse diriger l'animal vers l'ensemble de la masse florale... » Il revient pourtant à ses affirmations premières dans quelques travaux ultérieurs (1), mais finalement, dans sa note intitulée : *L'ablation des antennes chez les Bourdons et les appréciations d'Aug. Forel* (2), il tient bon compte des expériences de Forel, qu'il a vérifiées lui-même, et de celles de A. Gorka (3), et énonce une conclusion qui le met d'accord avec ses contradicteurs. « Tout se résume donc en ceci : jusqu'à la date d'apparition de la présente notice, j'ai, dans l'attraction des Insectes par les fleurs, *attribué une action secondaire à la vision et une action prépondérante à l'odorat* (4). » Et il termine en disant : « Que déduire en fin de compte de tout cet exposé ? C'est que si j'ai eu le tort d'attribuer,

---

(1) F. Plateau, *Les Pavots décorollés. — Expériences sur l'attraction des Insectes par les étoffes colorées, objets brillants. — Observations sur les erreurs commises par les Hyménoptères visitant les fleurs.* (Loc. cit.)

(2) F. Plateau, *loc. cit.*

(3) A. Gorka, *Die Insekten und die Blumen.* (Rovartani Lapok, V, p. 139.) Analyse détaillée par L.-V. Aigner-Abafi dans *Illustrierte Zeitschrift für Entomol.*, Bd V, nº 4, p. 57, 1900.

L'expérience porte sur des Sphinx dont il a recouvert les antennes de collodion; ils volent, comme les individus normaux, directement aux Phlox, qu'ils recherchent spécialement. D'autre part, il recouvre les yeux d'autres individus d'un vernis noir, les antennes restant intactes; ils se portèrent d'abord sur d'autres fleurs avant de trouver les Phlox. Les deux expériences furent répétées onze fois et donnèrent chaque fois les mêmes résultats.

(4) C'est M. Plateau qui souligne.

dans les rapports entre les Insectes et les organes floraux, une prépondérance *exagérée* à l'odorat, mes nombreuses observations et expériences prouvent, ainsi que le déclara un de mes adversaires, le regretté P. Knuth, dans son magnifique ouvrage sur la biologie des fleurs, que *le sens olfactif joue, dans la recherche des fleurs par les Insectes, un rôle beaucoup plus important que ce qui était admis jusqu'alors.* »

La question semble ainsi résolue. Mais cette infirmation par Plateau lui-même d'une partie de ses assertions précédentes n'est pas suffisante pour lever le doute que ces dernières avaient suscité dans beaucoup d'esprits, d'autant plus qu'elles avaient été déduites d'expériences dues à un habile observateur et qu'elles avaient fortement attiré l'attention.

C'est pourquoi E. Andreae (1), J. Perez (2) qui antérieurement déjà s'était intéressé à la question (3), et E. Giltay (4) tout récemment, ont repris méthodiquement l'étude expérimentale de l'attraction des Insectes par les fleurs. Leurs nombreuses observations et expériences mènent à des conclusions qui concordent absolument. Tous trois reconnaissent la fonction vexillaire

---

(1) E. Andreae, *loc. cit.*

(2) J. Perez, *De l'attraction exercée par les couleurs et les odeurs sur les Insectes.* (Mém. de la Soc. des sciences phys. et nat. de Bordeaux, 6e sér., t. III, p. 1, 1903.)

(3) J. Perez, *Notes zoologiques.* (Actes de la Soc. linnéenne de Bordeaux, vol. XLVII, 5e sér., t. VII, p. 250, 1894.)

(4) E. Giltay, *Ueber die Bedeutung der Krone bei den Blüten und über das Farbenunterscheidungsvermögen der Insekten,* I. (Jahrb. f. wiss. Bot., Bd XL, Heft 3, p. 368, 1904.)

des organes floraux colorés et sont d'avis que cette coloration est, en général, plus efficace que les effluves odorants.

*
* *

Les observations particulières qui suivent, dont quelques-unes sont inédites, émanent de savants distingués et témoignent aussi d'une indiscutable attraction exercée par la forme et par la couleur vive des fleurs.

Houzeau (1) cite le cas d'un *Sphinx* qui cherchait à butiner sur les fleurs peintes d'un papier de tenture.

Burton (2) a vu un *Macroglossa stellatarum* se porter sur les fleurs artificielles du chapeau d'une dame.

G.-J. Romanes (3) communique une observation du révérend M. Bevan et une autre de miss E. Shuttleworth qui, « chacun de son côté, ont vu des Abeilles et des Guêpes faire visite à des images de fleurs sur le papier de tenture d'appartements ». Romanes cite un autre cas encore bien intéressant : « Le naturaliste Couch a vu une Abeille prendre une Actinie (*Tealia crassicornis* , à peine couverte d'une légère couche d'eau, pour une fleur; elle se précipita vers le centre du disque, et, bien qu'elle luttât beaucoup pour se libérer, elle fut retenue jusqu'à ce qu'elle fût noyée et alors fut avalée. »

Un anonyme, qui signe A. J. H., relate dans *Nature*,

---

(1) Houzeau, *Études sur les facultés mentales des animaux,* t. I, p. 210.

(2) Burton, *Nature,* t. XVII, p. 162.

(3) Romanes, *L'évolution mentale chez les animaux* (Traduction de H. de Varigny), p. 162, 1884.

tome XVII, pages 11 et 162, une observation prouvant que les fleurs artificielles et les dessins colorés peuvent attirer les Insectes.

Kerner von Marilaun (1) appelle l'attention sur le fait que les tapis multicolores de nos prairies présentent rarement, à la fois, toutes les couleurs de fleurs; dans la plupart des cas il n'y a guère, à côté du vert, que deux couleurs qui dominent : blanc et rouge, ou bleu et jaune, ou encore violet et orangé. Ce sont donc ordinairement des couleurs faisant contraste qui apparaissent en même temps côte à côte. Ces contrastes de couleurs, dit-il, doivent avoir pour résultat d'attirer l'attention des Insectes.

Les différentes colorations que présente une même espèce dans diverses régions peuvent s'expliquer par ce contraste de couleurs favorable aux visites des Insectes. L'auteur cite plusieurs exemples : *Campanula trachelium* porte dans certaines régions des fleurs blanches, dans d'autres des fleurs rouges. De même *Viola calcarata* à fleurs blanches ou jaunes suivant les régions, etc.

Rappelons aussi l'observation de L. Errera (2), qui, après avoir exposé la cause qui détermine les Insectes à préférer la variété mauve de *Pentstemon* aux autres (cause

---

(1) Kerner von Marilaun, *Ueber das Wechseln der Blütenfarbe an einer und derselben Art in verschiedenen Gegenden.* (Oesterr. bot. Zeitschrift, 1889, nº 3, pp. 77-78.) — (Cité par Ludwig, *Ueber neue pflanzenbiologische Untersuchungen.* [Biologisches Centralblatt, p. 135, 1889-1890.])

(2) L. Errera, *Pentstemon gentianoides et Pentstemon Hartwegi.* Appendice à « *Sur la structure et les modes de fécondation des fleurs* » par Errera et Gevaert, p. 189, 1878.

qui tient uniquement à la structure florale), fait remarquer que « dans un parterre où les cinq variétés sont cultivées pêle-mêle, c'est une chose curieuse que de voir ces Insectes (Hyménoptères, Diptères) voler constamment, sans hésiter, d'une plante mauve à l'autre, en passant au-dessus des autres variétés, comme si elles n'y étaient pas ». Les Insectes reconnaissaient donc la teinte mauve.

M. le professeur L. Errera a bien voulu me communiquer quelques autres observations intéressantes et inédites; je l'en remercie ici tout particulièrement.

1° Près d'Altdorf, en Suisse, M. Errera observe que les portes des diverses ruches d'un même rucher ont été peintes de couleurs différentes, ceci, au dire des apiculteurs eux-mêmes, pour que les Abeilles reconnaissent plus facilement leur demeure.

2° En juillet 1898, lors d'un enterrement à la campagne, l'attention de M. Errera fut attirée par de nombreux Hyménoptères qui, pendant toute une demi-heure, volèrent autour du chapeau d'une paysanne. Ce chapeau était orné de fleurs artificielles : roses jaunes bien épanouies, et pensées ; or, les Insectes volaient aux roses et négligeaient les pensées de ce même chapeau. Ces Hyménoptères étaient si nombreux et leur conduite si frappante qu'ils furent remarqués par plusieurs personnes.

3° En juin 1900, M. Errera dispose au milieu d'une vaste pelouse d'une propriété des environs de Bruxelles, dans deux vases pareils, de couleur gris terne, à grande distance l'un de l'autre, en plein soleil, deux bouquets composés chacun d'un même nombre de fleurs des mêmes espèces ; mais, tandis que dans l'un les fleurs sont laissées

intactes, dans l'autre elles ont été décorollées avec précaution en respectant les nectaires. Les bouquets comprennent : trois grappes fleuries de *Rhododendron*, une grappe d'*Hesperis matronalis*, neuf capitules de *Chrysanthemum leucanthemum*; une branche fleurie de *Diervilla*, un *Papaver orientale* à grande fleur rouge et quatre grandes *Pensées*. A remarquer que ce bouquet de fleurs amputées est encore assez voyant, grâce aux bases colorées des étamines de *Rhododendron*, aux calices blancs des *Hesperis*, aux capitules de fleurs tubulées jaunes des *Chrysanthemum*.

Les observations se font alternativement sur les deux bouquets.

Bouquet de fleurs normales. De 3^h35^m à 3^h45^m. Du soleil.		Bouquet de fleurs mutilées. De 3^h50^m à 4 h. Du soleil.
Guêpe	1	
Pieris	2	
Grillon	1	2 Diptères.
Diptères	5	
Total	9	

Remarque : Aucun de ces Insectes n'a sucé le nectar.

En 10 minutes suiv. Soleil.		En 10 minutes. Soleil.	
Hyménoptère	1	Hyménoptères suçant assidûment sur Hesperis . . .	2
Diptères	5	Hyménoptère sur Chrysanth.	1
Total	6	Microlépidoptère	1
En 10 min. Soleil intermittent.		Diptère	1
Hyménoptère	1	Hyménoptère.	1
Diptères	7	Total. . .	6
Total	8		
Total : 23 visites en 30 minutes.		Total : 8 visites en 20 minutes.	

Ce qui représente : *46* visites à l'heure pour le bouquet de fleurs normales et *24* visites à l'heure pour le bouquet de fleurs décorollées.

4° M. L. Errera a constaté plusieurs fois des erreurs commises par des Insectes confondant des fleurs de *même couleur*, notamment *Veronica triphyllos* et *V. hederaefolia* (1). Il est vrai, comme l'ajoute ce savant dans ses notes manuscrites, que beaucoup de fleurs peu voyantes attirent les Insectes : *Réséda*, *Teucrium*, *Héliotrope* et tant d'autres, mais cela n'empêche qu'au total la couleur soit une enseigne précieuse permettant aux Insectes de reconnaître aisément leur hôtellerie préférée.

5° M. Errera m'autorise à transcrire ici une communication qui lui fut faite par M. le professeur Strasburger. Celui-ci a vu à Gênes un Papillon (*Macroglossa stellatarum* L.) se porter sur des fleurs rouges d'Oléandre du papier peint d'une chambre : le Papillon cherchait à visiter une à une les fleurs, tout comme il l'eût fait sur des fleurs naturelles.

Enfin, M. le professeur Ch. Van Bambeke me permet de citer une observation qu'il fit récemment et qui s'ajoute aux précédentes : « Par une journée d'été de l'année courante, me promenant au parc, à Gand, je

---

(1) Rapprochons de ceci une observation de Delpino (*Ult. oss.*, II, p. 10). Il voit une Abeille, butinant dans une prairie des environs de Vallombrosa, confondre fréquemment *Bellis perennis* avec *Anemone nemorosa*, dont elle recueillait le pollen : les deux espèces de fleurs étaient à peu près également réparties dans la prairie; et les observations analogues de H. Müller sur *Viola* et *Hyacinthus* et de Darwin sur *Erica* et *Calluna*.

vis un *Pieris brassicæ* se diriger vers un fragment de papier, rappelant par sa couleur celle du chou rouge, s'y poser un instant, mais se retirer brusquement, après avoir pris contact avec le corps en question. »

Les quelques observations et expériences qui suivent viennent s'ajouter à celles qui précèdent et à celles d'Andreae, de Perez et de Giltay. La conclusion qu'on en peut tirer est la même. Elles ne se distinguent que par les détails dans les procédés employés et par leur limitation à un seul genre et même à une seule espèce d'Insectes, afin d'éviter une généralisation prématurée.

§ 2. — Disposition des expériences et précautions prises.

A la suite d'une discussion des expériences de M. Plateau, MM. Errera et Massart m'engagèrent à faire une série d'expériences tendant à vérifier si la corolle et autres organes colorés exercent une attraction sur les Insectes, et si cette attraction est moindre ou plus grande que celle exercée par le parfum.

Mes premières observations, faites en juin 1903 au Jardin botanique de Bruxelles, sur des bouquets corollés et décorollés, me conduisirent à cette remarque, — signalée depuis dans le travail d'Andreae (1), — que les divers Insectes se comportent différemment vis-à-vis des deux facteurs : couleur et parfum. Les Insectes hautement évolués, Hyménoptères supérieurs (*Apis* et *Bombus*), visi-

(1) E. Andreae, *loc. cit.*

tent en beaucoup plus grand nombre les fleurs corollées que les fleurs décorollées; les *Eristalis* aussi manifestent une préférence marquée (moindre cependant) pour les fleurs munies de leurs organes éclatants. Quant aux Mouches et aux petits Diptères, ils se portent à peu près indifféremment sur toutes les fleurs; pour ces derniers Insectes, il est possible (la chose est à vérifier) que l'attraction par le parfum soit plus efficace que celle par la couleur. Mais il est évident, en tout cas, que pour les divers Insectes, il y a des différences de degré dans la puissance d'attraction de ces deux attributs des fleurs (1).

Il ne me paraît donc pas légitime de grouper ensemble (comme cela fut fait précédemment), pour l'étude d'un facteur, des organismes qui réagissent différemment vis-à-vis de ce facteur. Et, dès lors, je n'ai tenu compte, dans mes expériences ultérieures, que des visites d'une seule espèce d'Insectes : les seules Abeilles. Ceci explique en partie, je crois, que je sois arrivée à des résultats différant de ceux de M. Plateau. Dans les premières expériences, alors que j'additionne tous les Insec-

---

(1) W.-O. Focke, *Versuche und Beobachtungen über Kreuzung und Fruchtansatz bei Blütenpflanzen* (Abh. Naturw. Ver., Bremen, XI, 1890, pp. 412-422), résume ainsi une partie de ses observations sur le pouvoir visuel des Insectes : « Die Falter und Fliegen werden in vielen Fällen vorzugsweise durch den Geruchssinn zu den gesuchten Pflanzen geleitet; für die Hymenopteren dagegen dient der Geruch nur ausnahmsweise als wesentliches Hülfsmittel zur Auffindung honigführender Blumen (z. B. bei den Linden). » Et plus loin : « Der Farbensinn der einzelnen Insektenarten ist in verschiedenem Grade und in verschiedener Richtung entwickelt. » (Cité par P. Knuth, *Blütenbiol.*, 1898, Bd I. pp. 169-170.)

tes visiteurs, j'obtiens une supériorité dans le nombre de visites aux fleurs corollées, mais moins manifeste que lorsque je ne compte que les Abeilles de part et d'autre.

Les conditions bien déterminées dans lesquelles j'ai fait mes expériences, sur les conseils de MM. Errera et Massart, expliquent également la différence de mes résultats d'avec ceux de M. Plateau. Les bouquets ou les récipients renfermant les objets destinés à attirer les Insectes étaient toujours éloignés l'un de l'autre de plusieurs mètres, et suffisamment isolés pour éviter toute cause d'erreur suscitée par l'action d'autres facteurs attractifs voisins.

De plus, au cours de chaque expérience, je changeais fréquemment les bouquets et récipients de place, parfois en mettant l'un là où se trouvait l'autre et réciproquement, parfois en les mettant tous deux à des endroits nouveaux. De cette façon, la mémoire si fidèle des Abeilles était mise en échec et cette cause d'erreur très importante était évitée.

Les résultats des expériences de 1903 diffèrent assez sensiblement de ceux de 1904, parce que — et ceci prouve l'importance des précautions ci-dessus indiquées — je ne me suis pas placée alors dans d'aussi bonnes conditions que cette année. Le champ expérimental dont je dispose actuellement, grâce à l'obligeance de M. Massart, est dépourvu de fleurs dans toute la partie où je fais mes expériences. Les quelques parterres de fleurs qui se trouvent tout au fond du champ, à gauche de la ruche, ne peuvent en rien influencer mes expériences : ils sont trop éloignés de moi, un grand espace *libre de toute culture* me sépare de la ruche, et les Abeilles qui visitent les fleurs ou

autres objets mis en expérience, volent droit de la ruche vers moi; ce n'est donc jamais *par hasard*, *en butinant de-ci de-là*, qu'elles y viennent, c'est en *obéissant directement à l'attraction*.

J'ai toujours soin de ne pas laisser plus que de raison mes bouquets exposés aux visites des Insectes. Aussitôt une expérience finie, je cache tout mon matériel entre des arbustes touffus. Je rentre même les bouquets de fleurs artificielles, car plusieurs visites vaines mettraient les Abeilles en défiance vis-à-vis de ces fleurs.

Je veille, pour autant du moins que la chose soit possible, à ne pas compter plusieurs fois une même Abeille qui reviendrait à différentes reprises au bouquet. Les Abeilles ont, en effet, l'habitude de quitter, de temps à autre, les fleurs sur lesquelles elles butinent, pour y revenir ensuite après avoir décrit alentour un assez grand cercle. Mais je les suis dans leur vol et je ne compte pas comme visite nouvelle leur retour au bouquet. Après quelque temps d'observation, on sait d'ailleurs distinguer aisément une Abeille nouvellement attirée de celle qui revient de la courte excursion dont je viens de parler : le vol de la première est généralement plus droit et plus rapide que celui de la seconde. Il est évident cependant qu'au cours d'une expérience qui dure une ou deux heures et davantage, on peut avoir plusieurs fois la visite des mêmes Abeilles, soit qu'elles aient fait une exploration plus lointaine et que l'on n'ait pu les suivre, ou qu'elles soient entretemps retournées à la ruche. Mais dans ces deux cas ne peuvent-elles pas être considérées comme des Abeilles nouvelles, car elles ont évidemment le souvenir de plusieurs endroits où elles ont pu récolter, et ne

répondent-elles pas de nouveau à l'attraction la plus vive? Je ferai remarquer d'ailleurs que si j'ai dû noter forcément plusieurs fois les mêmes Abeilles revenant aux mêmes fleurs, guidées par la mémoire, il suffit d'un moment de réflexion pour comprendre que l'erreur a dû être faite toujours plutôt en faveur du facteur parfum qu'en faveur du facteur couleur : le premier étant toujours représenté dans mes expériences par des fleurs décorollées possédant encore leur nectar ou leur pollen, par des fleurs odoriférantes ternes, par des fleurs dissimulées sous du feuillage ou bien par du miel (dans tous les cas donc les visites sont fructueuses), tandis que le second facteur (couleur) est représenté par des fleurs naturelles corollées et librement exposées, par des fleurs naturelles corollées mais enfermées dans un cylindre de verre ou par des fleurs artificielles (dans tous les cas, sauf dans le premier, les visites sont infructueuses). Cette objection ne saurait donc, semble-t-il, avoir de prise sur mes expériences, ou plus justement sur les conclusions à en tirer.

Il arrive souvent qu'une Abeille, après avoir visité une fleur du bouquet ou s'y être simplement posée, aille se porter sur d'autres fleurs du même bouquet ; elle n'est comptée qu'une fois puisqu'il n'y a eu qu'*une* attraction : celle qui a déterminé l'Insecte à se poser sur la première fleur ; c'est ensuite en butinant, en se promenant, qu'elle s'est portée sur les autres, et non en réponse à une nouvelle attraction directe s'exerçant au loin.

La mutilation pourrait, m'objectera-t-on, avoir eu pour résultat la suppression du parfum dans la fleur. J'emploie souvent des fleurs à pollen, et lorsque j'utilise

des fleurs à nectar, j'apporte dans la décorollation suffisamment de précaution pour que les nectaires soient respectés. A ce propos, il faut noter que Plateau dissuade d'expérimenter sur des fleurs coupées, parce que, d'après lui, les Insectes s'en méfient. Je n'ai point remarqué cela, et sauf dans les cas de température défavorable, alors que les Insectes étaient très peu abondants dans tout le jardin, mes fleurs coupées ont toujours été activement visitées par de nombreux Insectes de diverses espèces.

Dans la préparation des expériences, je n'ai jamais négligé de prendre toutes les précautions prescrites par Plateau. Je me lavais soigneusement les mains, je veillais à n'avoir pas de parfum sur moi. Les ciseaux, pinces, etc., que j'employais pour cueillir et décoroller les fleurs étaient neufs et ne m'ont servi qu'à cet usage. Chacun d'eux avait sa gaine neuve aussi; je les transportais rarement et en tout cas jamais dans ma poche, mais dans un petit sac spécialement destiné à cet emploi. Les fleurs n'étaient point touchées avec les doigts, je ne les maniais qu'avec des pinces, et j'avais recommandé à la personne qui s'était chargée de la confection des fleurs artificielles de prendre autant que possible les mêmes précautions.

D'après Plateau et d'autres auteurs, les fleurs artificielles n'attireraient pas les Insectes et les mettraient même plutôt en défiance. J'ai donc été étonnée de voir des fleurs d'étoffe attirer puissamment les Abeilles. Il est vrai qu'elles avaient été faites sur le modèle de fleurs naturelles et qu'elles les imitaient aussi fidèlement que possible. Je les disposais dans du feuillage naturel,

si bien que pour nos yeux la confusion était facile entre le bouquet de fleurs naturelles et celui de fleurs artificielles Il est possible que les Insectes n'aient pas la même perception des couleurs que nous; certains auteurs se prononcent cependant pour une analogie très grande entre la perception visuelle des Insectes et celle des Vertébrés (1).

Quoi qu'il en soit, les Abeilles remarquaient parfaitement les fleurs artificielles mises en expérience, et, chose essentielle, au point de vue qui nous occupe, il en résultait une attraction incontestable.

Certaines de mes expériences (répétitions de précédentes d'ailleurs) ne sont pas notées, parce que — par suite de températures défavorables — elles n'ont donné qu'un trop petit nombre de visites. Mais jamais ces expériences peu fructueuses n'ont donné de résultats inverses de ceux des autres indiquées ci-après, sans quoi je les aurais signalées.

Le nombre total des visites notées au cours de mes vingt-neuf séries d'observations pourra paraître relativement peu élevé. Je me permettrai toutefois de faire remarquer que lorsqu'on ne tient compte, comme ici, que d'Insectes d'une seule espèce, il faut un laps de temps souvent très long pour avoir un chiffre de visites quelque peu frappant, que ce chiffre correspond à un nombre très élevé de visites d'Insectes quelconques et

---

(1) J. Chatin, dans *Contribution expérimentale à l'étude de la chromatopsie chez les Batraciens, les Crustacés et les Insectes,* Paris, 1881.

que ce chiffre, par conséquent, est plus décisif qu'il ne paraît à première vue.

Avant d'exposer mes expériences, je me fais un réel plaisir d'exprimer ici ma profonde reconnaissance à mes savants professeurs, MM. Errera et Massart, pour le soutien constant que j'ai trouvé en eux, pour l'intérêt avec lequel ils ont suivi mes expériences, m'aidant de leurs conseils et de leur science.

Les recherches bibliographiques m'ont été particulièrement facilitées par M. Errera et par M. Schouteden, de la Société entomologique; je les en remercie chaleureusement, ainsi que Mme Hettema, M. Deffet, Mlle Tondeur, M. Commelin, assistant à l'Institut botanique, et mon père qui, successivement, voulurent bien mettre leur temps et leur patience à ma disposition pour les observations simultanées de différents bouquets.

§ 3. — Compte rendu des expériences.

Expériences faites au Jardin botanique de Bruxelles. Juin 1903.

Deux bouquets sont placés à une dizaine de mètres de distance l'un de l'autre, dans un enclos à peu près dépourvu de fleurs. L'un des bouquets est composé de fleurs naturelles intactes, l'autre d'un même nombre des mêmes fleurs décorollées.

I. — *Observation du 20 juin 1903.* De 2 h. à 3^h40^m. Peu de soleil, peu de vent. Nous sommes deux pour l'observation simultanée des deux bouquets, que nous changeons de place toutes les vingt minutes.

	Fleurs intactes.		
	Insectes visiteurs.		Abeilles.
Epilobium spicatum . . .	14	dont	7
Malva sylvestris	4	—	2
Total . . .	18	—	9

	Fleurs décorollées.		
	Insectes visiteurs.		Abeilles.
Epilobium spicatum . . .	12	dont	5
Malva sylvestris	3	—	1
Total . . .	15	—	6

Remarque. — L'Épilobe décorollé présente encore des organes de teinte éclatante : pédicelle, calice, étamines, stigmates. Dans les expériences suivantes, je supprime le calice de cette fleur.

II. — *Observation du 22 juin 1903.* De 2 h. à 4 h. Soleil par intermittences. Assez bien de vent. Nous procédons comme précédemment :

	Fleurs intactes.		
	Insectes visiteurs.		Abeilles.
Epilobium spicatum . . .	15	dont	11
Antirrhinum majus . . .	4	—	3
Pensées	0	—	0
Total. . . .	19	—	14

	Fleurs mutilées.		
	Insectes visiteurs.		Abeilles.
Epilobium spicatum . . .	12	dont	6
Antirrhinum majus . . .	1	—	0
Pensées	0	—	0
Total . . .	13	—	6

Remarque. — On s'étonnera peut-être de l'emploi d'*Antirrhinum*, après l'explication donnée par Plateau (1) du fait que les *Bombus* négligent des *Antirrhinum* décorollés; mais cette explication a été réfutée par Aug. Forel (2).

III. — *Observation du 25 juin 1903.* De 2^h30^m à 4 h. Belle journée ensoleillée. Nous procédons comme précédemment :

	Fleurs intactes.		
	Insectes visiteurs.		Abeilles.
Epilobium spicatum . . .	20	dont	16
Symphytum officinale . .	4	—	2
Antirrhinum majus . . .	3	—	2
Total . . .	27	—	20

(1) F. Plateau, *Comment les fleurs attirent les Insectes.* (Bull. de l'Acad. roy. de Belgique, deuxième partie, t. XXXII, nº 11, p. 527, 1896.)

(2) Aug. Forel, *Critique des expériences,* etc. (Rivista di Biologia, 1901, nºs 1-2, p. 55.)

	Fleurs mutilées.		
	Insectes visiteurs.		Abeilles.
Epilobium spicatum . . .	16	dont	6
Symphytum officinale . .	5	—	0
Antirrhinum majus . . .	3	—	0
Total . . .	24	—	6

Il convient d'attirer spécialement l'attention sur cette expérience, où apparaît le mieux le fait signalé au début du paragraphe précédent : le rapport des visites sur fleurs intactes et fleurs décorollées n'est que de 27 : 24 pour les Insectes quelconques, tandis qu'il est de 20 : 6 pour les Abeilles.

IV. — *Expérience faite à Lembecq lez-Hal, 28 juin 1903.* Belle journée très ensoleillée. Ciel très pur.

Les observations portent sur deux bouquets composés d'un même nombre de *Centaurea cyanus,* de *Papaver rhœas,* de *Pyrethrum leucanthemum.* Dans l'un, les fleurs sont laissées intactes. Dans l'autre, les Coquelicots ont été décorollés, les grandes corolles bleues des fleurs périphériques des Bluets ont été coupées, les grandes lèvres blanches des fleurs périphériques des grandes Marguerites ont été coupées également. Les deux bouquets sont placés à 25 mètres de distance, dans un jardin à peu près dépourvu de fleurs, lequel est lui-même entouré de champs de pommes de terre non en fleurs et d'un champ de froment. Il y a deux ruches dans une maison distante de 500 mètres environ.

Les observations se font simultanément auprès des deux bouquets et se prolongent pendant $2^h 20^m$.

	Fleurs intactes.		
	Insectes visiteurs.		Abeilles.
Centaurea cyanus	40	dont	28
Papaver rhœas	1	—	0
Pyrethrum leucanthemum .	2	—	1
Total . . .	43	—	29

	Fleurs mutilées.		
	Insectes visiteurs.		Abeilles.
Centaurea cyanus	22	dont	10
Papaver rhœas	1	—	0
Pyrethrum leucanthemum .	4	—	0
Total . . .	27	—	10

Remarque. — Les fleurs et inflorescences mutilées, utilisées pour cette expérience, sont encore très voyantes.

Expériences faites au Jardin botanique de Bruxelles. Août-septembre 1904.

Les observations se font dans le champ expérimental de M. Massart. C'est un grand enclos ne renfermant, pour le moment, que quelques plates-bandes de fleurs, tout au fond, là où se trouve la ruche. Je me place à l'autre bout, dans un grand espace dépourvu de toute culture.

Les observations portent sur deux bouquets, l'un composé de fleurs intactes, l'autre de fleurs décorollées. Je suis seule et observe les bouquets alternativement pendant vingt minutes. Après chaque série, je change les vases de place.

V. — *Observation du 26 août 1904.* De 11 h. à 12^h20^m. Soleil par intermittences. Ciel très nuageux. Vent assez fort. Je ne tiens plus compte que des Abeilles.

	Corollées.	Décorollées.
Malva sylvestris	6	0
Dahlia variabilis	1	1
Antirrhinum majus	0	0
Œnothera Lamarckiana . .	2	0
Total	9	1

VI. — *Observation du 27 août 1904.* De 9^h25^m à 10^h5^m. Du soleil. Ciel nuageux. Un peu de vent.

	Corollées.	Décorollées.
Dahlia variabilis	6	1
Antirrhinum majus	4	5
Total	10	6

VII. — *Même jour.* De 10^h35^m à 11^h55^m.

	Corollées.	Décorollées.
Dahlia variabilis	3	1
Antirrhinum majus	3	0
Eschscholtzia	2	0
Total	8	1

VIII. — *Même jour.* De 2^h40^m à 4^h40^m.

	Corollées.	Décorollées.
Dahlia variabilis	7	4
Antirrhinum majus	5	0
Eschscholtzia	8	1
Viola tricolor	4	0
Total	24	5

IX. *Observation du 28 août 1904.* De 10^h40^m à 11^h40^m. Matinée très ensoleillée. Ciel pur. Vent du Nord.

	Corollées.	Décorollées.
Dahlia variabilis	1	1
Eschscholtzia	4	1
Antirrhinum majus	0	0
Total	5	2

X. *Observation du 29 août 1904.* De 9^h25^m à 11^h25^m. Journée bien ensoleillée. Ciel peu nuageux. Assez de vent.

	Corollées.	Décorollées.
Dahlia variabilis	6	2
Eschscholtzia	4	1
Viola tricolor	0	0
Total	10	3

Je clos ici les séries d'expériences avec deux bouquets, l'un à fleurs corollées, l'autre à fleurs décorollées. En ne tenant compte que des seules Abeilles, nous avons donc :

	Corollées.	Décorollées.
Total des visites (séries de 1903).	72	28
— (— 1904).	66	18
Total	138	46

Conclusion. — Les Abeilles sont manifestement plus attirées par les fleurs munies de leurs organes colorés que par les mêmes fleurs privées de ces organes colorés. Le rapport est de 3 : 1.

XI. — *Expérience du 6 septembre 1904.* De 9^h45^m à 11^h5^m. Journée bien ensoleillée. Peu de vent.

Je place à 6 mètres de distance l'un de l'autre, deux récipients : l'un, un cristallisoir renfermant du miel, l'autre, un vase avec un bouquet de fleurs naturelles corollées. Les observations se font simultanément; toutes les vingt minutes nous changeons les récipients de place.

	Bouquet de fleurs corollées.	Miel.
Coreopsis . . .	31 Abeilles.	0 Abeille.
Helenium . . .	18 —	0 —
Total . .	49 —	0 —

XII. — *Expérience du 10 septembre 1904.* De 9^h20^m à 10^h20^m. Ciel nuageux. Soleil par intermittences; assez bien de vent. Reprise de l'expérience précédente. Même façon de procéder.

	Bouquet de fleurs corollées.	Miel.
Coreopsis . . .	9 Abeilles.	0 Abeille.
Helenium . . .	4 —	0 —
Cosmos. . . .	0 —	0 —
Total . .	13 —	0 —

Remarque. — Deux Abeilles passent au-dessus du cristallisoir à miel sans s'y arrêter.

Total pour ces deux expériences qui ont duré ensemble 2^h20^m.

Bouquet de fleurs corollées.	Miel.
62 visites d'Abeilles.	0 visite d'Abeille.

XIII. — *Deuxième expérience du 10 septembre 1904.* De 10^h20^m à 11^h45^m. Du soleil. Peu de vent.

On dispose aux mêmes places que précédemment deux récipients : l'un renfermant du miel, l'autre un bouquet de fleurs naturelles corollées, des Compositacées jaunes : *Taraxacum officinale, Helenium, Coreopsis.* Mais cette fois le bouquet est recouvert d'une grande cloche. Il s'agit de voir si les Abeilles viendront vers le bouquet, où le facteur couleur seul est en jeu, ou vers le cristallisoir avec miel, où le facteur parfum seul intervient. Quand une buée trop forte s'est condensée sur les parois de la cloche, j'interromps l'observation pour soulever un moment la cloche et nous changeons alors les récipients de place.

Bouquet sous cloche.	Miel.
—	—
12 Abeilles.	0 Abeille.

A 11^h45^m, au moment de clôturer l'expérience précédente, je fixe dans le miel deux *Eschscholtzia.* Au bout de deux minutes, une Abeille vient visiter un *Eschscholtzia*, puis longe le pédicelle de la fleur et suce le miel avidement.

Conclusion des expériences XI-XII-XIII. — Les Abeilles n'ont pas été attirées par le miel (1), tandis qu'elles l'ont été puissamment par les fleurs naturelles corollées librement exposées : soixante-deux visites en 2^h20^m ; et assez

(1) Il pourra sembler étrange que le miel n'ait pas attiré les Abeilles pendant 3^h45^m d'observation. Je ferai remarquer que les célèbres expériences de Lubbock et celles, plus récentes, d'Andreae prouvent aussi que le miel à lui seul n'attire guère les Abeilles.

bien aussi par les fleurs naturelles corollées sous cloche de verre : douze tentatives en 1^h25^m.

XIV. — *Expérience du 11 septembre 1904.* De 9^h30^m à 11^h30^m. Soleil par intermittences, mais chaud. Ciel nuageux. Peu de vent, très doux. Je place aux mêmes endroits qu'hier deux bouquets semblables, composés de neuf *Eschscholtzia* et de deux *Dahlia*. L'un des bouquets est fait de fleurs naturelles corollées munies de leur feuillage, l'autre de fleurs artificielles aussi bien imitées que possible. J'ai fixé ces fleurs artificielles au moyen de minces fils de fer dans du feuillage naturel des deux plantes en expérience, en donnant à ces fleurs l'attitude qu'elles ont dans le bouquet naturel. Toutes les vingt minutes, les bouquets sont changés de place.

Fleurs naturelles.	Fleurs artificielles.
17 Abeilles.	15 Abeilles.

Les Abeilles viennent aux deux bouquets d'un vol direct (souvent de haut). La plupart des Abeilles se posent à peine sur le bouquet artificiel, elles s'aperçoivent rapidement de l'erreur dans laquelle elles sont tombées et s'envolent aussitôt; trois d'entre elles n'ont même fait que frôler le bouquet. Mais j'en ai remarqué deux qui ont visité complètement la fleur sur laquelle elles s'étaient posées, la contournant de toutes manières, fouillant même entre les étamines, pour ne s'envoler qu'ensuite. L'une d'elles, après s'être éloignée un peu du bouquet, y est revenue une fois encore comme pour se bien convaincre de son erreur.

XV. — *Expérience du 12 septembre 1904.* De 10 h. à 10^h40^m. Soleil tamisé par la brume, dissimulé fréquemment derrière d'épais nuages. Un peu de vent.

Je reprends l'expérience précédente en procédant de même.

Fleurs naturelles.	Fleurs artificielles.
—	—
5 Abeilles.	4 Abeilles.

Résultat pour ces deux séries :

Fleurs naturelles.	Fleurs artificielles.
17 Abeilles.	15 Abeilles.
5 —	4 —
22 —	19 —

Conclusions des expériences XIV et XV. — Ces expériences comparatives prouvent : 1° que les fleurs artificielles, telles que je les ai disposées, attirent parfaitement les Abeilles; 2° qu'elles les attirent presque autant que les fleurs naturelles. Dans les conditions où j'ai expérimenté,

(Forme + couleur + parfum) : (forme + couleur) = 22 : 19.

XVI. — *Deuxième expérience du 12 septembre 1904.* De 10^h40^m à 11^h10^m. Le bouquet de fleurs artificielles reste librement exposé aux visites des Abeilles, mais le bouquet de fleurs naturelles corollées est placé dans un grand bocal de verre recouvert d'un disque de verre. Ce dispositif remplace avantageusement la cloche utilisée dans l'expérience XIII. La cloche devait être enlevée complètement pour permettre l'évaporation de la buée déposée sur les parois. Ici, il suffit de soulever un moment le disque. De cette façon on n'agite pas le bouquet, on risque moins de détériorer les fleurs et le déplacement — que je ne négligeais jamais — se fait plus facilement. De

plus, la boule surmontant la cloche formait lentille et il m'a paru que ceci pouvait être une cause d'erreur.

Fleurs naturelles corollées dans bocal fermé.	Fleurs artificielles.
—	—
3 Abeilles viennent heurter les parois du bocal.	4 Abeilles.

XVII. — *Expérience du 14 septembre 1904.* De 10 h. à 10h30m. Ciel très nuageux. Je profite du seul moment où le soleil apparaisse pour reprendre l'expérience précédente que je n'avais pu prolonger suffisamment et dont les résultats me sont nécessaires pour m'assurer que les autres expériences, où j'emploie les fleurs artificielles, sont à l'abri de la critique.

Fleurs naturelles corollées dans bocal en verre, fermé.	Fleurs artificielles.
—	—
2 Abeilles.	2 Abeilles.

Total pour ces deux expériences, *qui n'ont duré ensemble que cinquante minutes :*

Fleurs naturelles dans bocal fermé. . .	3 + 2 = 5 Abeilles.
Fleurs artificielles	4 + 2 = 6 —

Conclusion. — Il n'y a guère de différence entre l'attraction exercée par des fleurs naturelles corollées dont on aurait supprimé le parfum et des fleurs artificielles de même forme et de même couleur, les deux bouquets ayant le même feuillage.

(Forme + couleur) (fl. natur.) : (forme + couleur) (fl. artific.) = 5 : 6

Il y a attraction un peu plus faible par les premières, sans doute à cause de la paroi de verre. Les fleurs

naturelles dont on veut supprimer le parfum peuvent donc parfaitement être remplacées par des fleurs artificielles.

XVIII. — *Expérience du 17 septembre 1904.* — De 9h20m à 10h40m. Ciel très pur. Du soleil. Assez de vent.

Observation simultanée de deux bouquets placés à 6 mètres de distance, composés l'un de fleurs naturelles (9 *Eschscholtzia*, 3 *Dahlia*), soigneusement décorollées, l'autre, des mêmes fleurs artificielles et en même nombre, celles-ci étant corollées et disposées comme précédemment dans du feuillage naturel.

Fleurs artificielles.	Fleurs naturelles décorollées.
11 Abeilles.	6 Abeilles.

Remarque. — Des six Abeilles qui ont visité les fleurs naturelles décorollées, cinq se sont portées sur les capitules mutilés des trois *Dahlia*, encore assez voyants grâce aux fleurs jaunes qui y subsistent. Une seule Abeille s'est posée en premier lieu sur l'un des neuf *Eschscholtzia*, fleurs à pollen, qui ne sont guère visibles décorollées.

Conclusion. — Cette expérience, mieux encore que les premières expériences comparatives avec fleurs naturelles corollées et fleurs naturelles amputées, prouve que les organes colorés des fleurs jouent un rôle vexillaire indiscutable.

J'attribue la différence des rapports de visites entre ces premières expériences (1 à 3) et celle-ci (6 à 11) au fait que cette dernière porte surtout sur des fleurs à pollen, non parfumées (*Eschscholtzia*), chez lesquelles la

visibilité joue un rôle plus important, tandis que les autres comprenaient, outre les *Eschscholtzia*, un grand nombre de fleurs nectarifères et odoriférantes, et qu'après les expériences de Plateau on ne peut contester l'efficacité du parfum. De plus, comme nous l'avons signalé, plusieurs des fleurs, dans les premières expériences, restaient assez voyantes malgré la décorollation.

XIX. — *Deuxième expérience du 17 septembre 1904.* De 11 h. à 12h30m. Soleil constant, très chaud.

Deux bouquets semblables de fleurs naturelles (*Helenium, Coreopsis, Helianthus, Viola tricolor, Impatiens*) sont soumis à l'observation. Les fleurs sont laissées intactes de part et d'autre, mais l'un des bouquets est dissimulé sous du feuillage (feuillage des plantes mises en expérience), tandis que l'autre est exposé librement à la vue des Insectes.

Fleurs naturelles bien visibles.	Fleurs naturelles cachées sous feuillage.
—	—
32 Abeilles.	7 Abeilles.

Remarque. — Des sept Abeilles qui viennent au bouquet de fleurs cachées, trois seulement trouvent les fleurs et les visitent activement.

Donc, dans cette expérience réalisée dans des conditions très favorables à tous les points de vue,

(Forme + couleur + parfum) : parfum = 32 : 7.

E. Andreae a fait une expérience analogue à celle-ci, mais il a dissimulé ses fleurs sous du papier brun ; or on pourrait lui objecter que l'odeur de ce papier est peut-être désagréable aux Insectes.

XX. — *Expérience du 18 septembre 1904.* De 10^h20^m à 11^h20^m. Très belle journée bien ensoleillée. Ciel absolument pur. Assez bien de vent.

Cette expérience doit servir de complément à la précédente. Je dispose à 5 mètres de distance deux bouquets semblables, composés tous deux de *Helianthus, Aster, Dahlia, Eschscholtzia.* Dans l'un, les fleurs sont artificielles (avec feuillage naturel) et bien visibles, dans l'autre, elles sont naturelles mais complètement dissimulées sous du feuillage.

Fleurs artificielles bien visibles.	Fleurs naturelles cachées sous feuillage.
—	—
19 Abeilles.	4 Abeilles dont 3 visitent des fleurs.

Donc pour cette expérience :

(Forme + couleur) : parfum = 19 : 4.

Conclusions des expériences XIX et XX. — Il découle clairement de ces deux expériences que le parfum seul n'agit pas autant que lorsqu'il s'ajoute à une coloration vive, et que son action est même moins efficace dans l'attraction que celle de la seule coloration vive.

XXI. — *Deuxième expérience du 18 septembre 1904.* De 11^h30^m à 12^h10^m. Je dispose sur une ligne perpendiculaire au vol des Abeilles venant de la ruche, à 2 mètres les uns des autres (de façon que la personne qui m'assiste et moi nous puissions, sans trop de peine, observer simultanément deux récipients) : 1° un bouquet de fleurs naturelles intactes et bien visibles, comprenant des fleurs de *Helianthus, Dahlia, Aster, Helenium,* avec leur feuillage; 2° un bouquet de même composition, mais dissimulé sous du feuillage des plantes dont il est formé; 3° un cristallisoir avec du miel, placé sur des briques de façon qu'il se trouve à la même hauteur que les fleurs

des bouquets; 4° un bouquet de fleurs artificielles de même composition que les bouquets précédents, avec cette différence qu'ici les *Helenium* sont remplacés par des *Eschscholtzia*. (Je ne disposais pas d'*Helenium* artificiels et je n'avais plus pour le moment d'*Eschscholtzia* naturels convenables pour mes expériences, les uns étant trop épanouis, les autres encore en boutons. J'ai d'ailleurs remarqué que ces fleurs ont sensiblement le même pouvoir attractif.) J'ai soin de placer aux deux extrémités les bouquets à fleurs visibles, afin qu'ils soient le plus éloignés possible l'un de l'autre.

Fleurs naturelles intactes et bien visibles.	Fleurs naturelles cachées sous feuillage.	Miel.	Fleurs artificielles bien visibles.
25 Abeilles.	7 Abeilles.	1 Abeille.	20 Abeilles.

Remarque. — L'Abeille qui a trouvé le miel venait des fleurs naturelles visibles et se dirigeait vers les fleurs artificielles; en passant, elle a presque frôlé le cristallisoir et allait le dépasser, mais elle est revenue un peu en arrière pour s'y fixer et sucer le miel.

Les résultats de cette expérience peuvent se transcrire :

(Forme + couleur + parfum) : parfum de fleurs : parfum de miel : (forme + couleur) = 25 : 7 : 1 : 20.

XXII. — *Troisième expérience du 18 septembre 1904.* De 12^h10^m à 12^h45^m. Je renouvelle à ce moment un simple essai que j'avais tenté avec succès précédemment (XIII), à la fin d'une série d'observations où le miel avait été employé. Mais cette fois il m'est possible de prolonger l'expérience : le dispositif reste le même que dans l'expérience précédente, sauf que je pique dans le miel deux Dahlias artificiels fixés dans un peu de feuillage naturel : il s'agit de voir si désormais le cristallisoir à miel n'aura pas plus de succès.

Fleurs naturelles, intactes et visibles.	Fleurs naturelles cachées sous feuillage.	Miel + 2 Dahlias artif. avec feuill. nat.	Fleurs artificielles bien visibles.
15 Abeilles.	3 Abeilles.	8 Abeilles.	11 Abeilles.

Remarque. — Toutes les Abeilles qui se posent sur les Dahlias piqués dans le miel y restent plus longtemps qu'elles ne le font généralement sur des fleurs artificielles. Deux d'entre elles arrivent au miel, qu'elles pompent avec avidité et d'où j'ai de la peine à les chasser.

Les résultats de cette expérience concordent absolument avec ceux de l'expérience précédente; les rapports sont les mêmes, à peu de chose près. Nous avons ici :

(Forme + couleur + parfum) : parfum de fleurs :
(forme + couleur) = 15 : 3 : 11.

Et il apparaît nettement qu'il a suffi d'ajouter un élément de visibilité au miel pour augmenter considérablement ses propriétés attractives sur les Abeilles.

XXIII. — *Expérience du 19 septembre 1904.* Matinée bien ensoleillée. Ciel pur. Assez bien de vent.

De $10^h 20^m$ à 11 h. Deux cristallisoirs avec du miel sont exposés aux visites des Insectes. Ils sont distants de 6 mètres. Dans l'un j'ai placé huit *Eschscholtzia* intacts, naturels. Ces fleurs ne produisent pas de miel, les Abeilles n'y viennent chercher que du pollen; nous avons vu précédemment combien le seul parfum de ces fleurs était peu actif dans l'attraction (XVIII). J'ai enduit légèrement de miel tout le bord des deux cristallisoirs. M'étant étonnée moi-même du peu de succès du miel dans mes expériences, je m'en suis procuré d'une autre espèce (plus clair).

Miel + fleurs naturelles intactes, à pollen (Eschscholtzia).	Miel.
—	—
14 Abeilles.	0 Abeille.

Remarque. — Les quatorze Abeilles volent directement sur les fleurs, et presque toutes au centre de celles-ci, sur les étamines, qu'elles fouillent; trois d'entre elles vont au miel.

Conclusion. — Cette expérience s'ajoute à la précédente pour montrer le peu d'efficacité du miel seul et pour témoigner qu'il suffit d'y ajouter des fleurs voyantes (même non nectarifères) pour déterminer des visites d'Abeilles.

XXIV. — *Deuxième expérience du 19 septembre 1904.* De 11h10m à 12 h. Soleil chaud et constant; peu de vent

Observation simultanée de deux gros bouquets composés : l'un, de fleurs très odorantes mais peu éclatantes, l'autre, de fleurs inodores, du moins pour nous. Si vraiment le facteur parfum est plus actif dans l'attraction que le facteur couleur, le premier bouquet, composé exclusivement de Résédas bien épanouis, devrait sans doute attirer davantage les Abeilles que le second bouquet, comprenant des *Helianthus, Dahlia, Aster, Coreopsis, Helenium.* Les deux bouquets, placés dans des récipients semblables, ont sensiblement la même grosseur et sont placés, comme toujours, l'un à droite, l'autre à gauche du champ expérimental, à distance égale des ruches et à 6 mètres l'un de l'autre.

Fleurs peu odorantes mais très éclatantes.	Fleurs odoriférantes mais peu éclatantes (Résédas).
—	—
35 Abeilles.	6 Abeilles (visites prolongées).

XXV. — *Troisième expérience du 19 septembre 1904.* De 12 h. à 12h30m. Expérience analogue à la précédente avec cette différence que le bouquet de fleurs naturelles bien voyantes est remplacé par un bouquet de fleurs artificielles, bien éclatantes aussi, composé de : *Helianthus, Aster, Dahlia, Eschscholtzia.*

Fleurs artificielles.	Fleurs odoriférantes, peu éclatantes (Résédas).
—	—
25 Abeilles.	6 Abeilles.

M. Commelin, assistant à l'Institut botanique, qui m'aide pour ces observations simultanées, est frappé

également du nombre considérable de visites que reçoivent mes fleurs artificielles; il remarque aussi la conduite particulière et très significative des Abeilles, qui, pour la plupart, fouillent curieusement et longuement les fleurs artificielles, passant de l'une à l'autre, s'éloignant pour y revenir encore avant de disparaître définitivement.

Conclusion des expériences XXIV-XXV. — Dans la première :

(Forme + couleur + faible parfum) : (forme + parfum intense) = 35 : 6.

Dans la seconde :

(Forme + couleur) : (forme + parfum intense) = 25 : 6.

Les fleurs vivement colorées, mais inodores ou à odeur faible, attirent manifestement beaucoup plus que les fleurs ternes odoriférantes.

XXVI. — *Expérience du 20 septembre 1904.* De 11^h50^m à 12^h30^m. Ciel pur. Du soleil, mais beaucoup de vent assez froid. Les Abeilles ne sortent qu'en très petit nombre et ne s'éloignent guère de leur ruche.

Je place sur une même ligne perpendiculaire au vol des Abeilles, quatre récipients : l'un renferme du miel clair; le second du miel dans lequel j'ai piqué un bouquet de feuillage d'*Eschscholtzia;* le troisième, du miel avec des fleurs artificielles (*Eschscholtzia, Dahlia, Helianthus, Aster*); le quatrième, du miel avec des fleurs naturelles intactes (*Helenium, Aster, Dahlia, Helianthus*). Je les dispose de façon que les deux récipients à fleurs se trouvent aux deux extrémités, le plus éloignés possible l'un de l'autre.

Miel + fleurs naturelles.	Miel + feuillage.	Miel.	Miel + fleurs artificielles.
—	—	—	—
6 Abeilles.	0	0	4 Abeilles.

XXVII. — *Expérience du 26 septembre 1904.* De 11h40m à 12h30m. Belle journée ensoleillée. Ciel un peu nuageux. Vent faible.

Reprise de l'expérience précédente.

Miel + fleurs naturelles.	Miel + feuillage.	Miel.	Miel + fleurs artificielles.
—	—	—	—
14 Abeilles.	0	0	15 Abeilles.

Totaux pour ces deux séries :

20 Abeilles.	0	0	19 Abeilles.

Des expériences XXVI et XXVII, il ressort une fois de plus que le miel seul n'attire pas les Abeilles, même lorsqu'il est signalé à l'attention par du feuillage vert et qu'il suffit d'y placer des fleurs à pollen, non nectarifères mais vivement colorées, ou même des fleurs artificielles éclatantes, pour attirer un grand nombre d'Abeilles.

Observation XXVIII. — J'ai remarqué maintes fois, au cours des expériences exécutées en 1904 dans le champ expérimental du Jardin botanique, un fait qui me paraît assez significatif au point de vue qui nous occupe : à plusieurs mètres de moi se trouvait par hasard à terre un cristallisoir en verre de 0m40 environ de diamètre, lequel était rempli d'eau et de diverses Chlorophycées (particulièrement *Enteromorpha intestinalis*) flottant très serrées à la surface. J'avais remarqué que cette surface était très éblouissante au soleil. Or, un jour, mon attention fut attirée par la conduite très particulière d'une Abeille passant à proximité. Elle venait de la ruche, volant à une assez grande hauteur au-dessus du cristallisoir, d'un vol

direct et rapide; elle allait le dépasser quand, brusquement, elle changea de direction, faisant un crochet dans son vol pour venir au cristallisoir, qu'elle ne toucha d'ailleurs pas, car, arrivée à quelques centimètres de la surface réfléchissante, elle reprit son vol dans la direction première. J'eus l'occasion de refaire plusieurs fois cette observation.

Il me paraît évident que *les Abeilles étaient attirées de loin par l'éclat de la surface réfléchissante et qu'à faible distance seulement elles se rendaient compte* (par l'odorat ou par la vision) *que ces Algues ne méritaient pas de les arrêter.*

§ 4. — Conclusions.

Je crois pouvoir déduire des expériences exposées dans la présente note les conclusions suivantes :

1° Les fleurs munies d'organes vivement colorés ont sur les Abeilles un plus grand pouvoir attractif que des fleurs de même espèce qui en sont dépourvues;

2° Le miel n'attire guère les Abeilles ;

3° Dans les conditions où j'ai expérimenté, les fleurs artificielles ont parfaitement attiré les Abeilles, au même degré que des fleurs naturelles semblables, intactes, mais mises sous cloche;

4° Le parfum pris isolément n'attire qu'assez faiblement les Abeilles, tandis que la coloration vive et la forme prises ensemble, mais isolées des émanations odorantes, exercent une attraction très manifeste sur les Abeilles;

5° De la juxtaposition de ces trois facteurs principaux : forme, couleur et parfum, s'associant à la mémoire gastronomique, résulte l'attraction la plus vive.

Après l'achèvement de mes expériences, je me suis demandé s'il n'était pas possible d'en déduire des rapports approximatifs pour la valeur des diverses attractions florales.

Le premier point à vérifier est le degré de constance que de tels rapports présentent. Malgré tout le soin que l'on apporte à ne varier que d'une manière bien définie les conditions expérimentales, on est inévitablement soumis à tant d'actions perturbatrices qu'une constance parfaite est impossible, et j'ai été, je l'avoue, étonnée de constater dans la répartition des visites une fixité beaucoup plus grande qu'on ne pouvait l'espérer.

C'est ce qui résulte des chiffres suivants.

Dans le tableau ci-après (pp. 1256-1257), on a résumé toutes les expériences susceptibles de fournir des données numériques comparables. La quatrième colonne indique les nombres de visites observées; la cinquième les traduit en %, 100 représentant toujours le nombre de visites reçues par des fleurs munies de tous leurs moyens d'attraction : forme et couleur, odeur, pollen et nectar (ce dernier remplacé par du miel dans l'expérience XXIII).

Dans cette cinquième colonne, les attractions exercées par la *forme*, la *couleur*, l'*odeur*, la présence de *pollen* et de *nectar* sont représentées respectivement par f, c, o, p, n.

Les expériences XX et XXV ne portaient pas, il est vrai, sur des fleurs à attractions complètes, mais on y mettait en concurrence des fleurs présentant $f + c$ et d'autres présentant $o + p + n$. C'est donc ici le total des visites reçues par les unes et les autres qu'il nous faut figurer par 100. Il est remarquable que les rapports obtenus par cette méthode indirecte concordent parfaitement avec ceux que l'observation directe a fournis.

TABLEAU NUMÉRIQUE

Numéro.	Date.	Objets.
I à IV	Juin 1903	Fleurs corollées Fleurs décorollées
V à X	Août 1904	Fleurs corollées Fleurs décorollées
XI et XII	6 et 10 sept. 1904	Fleurs naturelles intactes Miel
XIV et XV	11 et 12 sept. 1904	Fleurs naturelles intactes Fleurs artificielles
XIX	17 sept. 1904	Fleurs naturelles, intactes, visibles Fleurs naturelles, intactes, cachées
XX	18 —	Fleurs artificielles visibles Fleurs naturelles cachées
XXI	18 —	Fleurs naturelles, intactes, visibles Fleurs naturelles, intactes, cachées Miel Fleurs artificielles
XXII	18 —	Fleurs naturelles, intactes, visibles Fleurs naturelles, intactes, cachées Miel + 2 Dahlias artificiels Fleurs artificielles
XXIII	19 —	Fleurs à pollen et miel Miel
XXIV	19 —	Fleurs éclatantes peu odorantes Fleurs ternes odorantes
XXV	19 —	Fleurs éclatantes artificielles Fleurs ternes odorantes
XXVI et XXVII	20 et 26 sept. 1904	Miel + fleurs naturelles intactes Miel + feuillage Miel Miel + fleurs artificielles

DES EXPÉRIENCES

Résultats. Nombre des visites.	Rapport °/o.
72 28 (1)	$f+c+o+p+n : o+p+n+\frac{f+c}{x} = 100 : 39$
66 18	$f+c+o+p+n : o+p+n+\frac{f+c}{x} = 100 : 27$
62 0	$f+c+o+p+n$: miel $= 100 : 0$
22 19	$f+c+o+p+n : f+c = 100 : 86$
32 7	$f+c+o+p+n : o+p+n = 100 : 21{,}9$
19 } 23 4	$f+c+o+p+n : f+c = 100 : 82{,}6$ $f+c+o+p+n : o+p+n = 100 : 17{,}4$
25 7 1 20	$f+c+o+p+n : o+p+n = 100 : 28$ $f+c+o+p+n$: miel $= 100 : 4$ $f+c+o+p+n : f+c = 100 : 80$
15 3 8 11	$f+c+o+p+n : o+p+n = 100 : 20$ $f+c+o+p+n$: miel $+\frac{f+c}{y} = 100 : 53$ $f+c+o+p+n : f+c = 100 : 73$
14 0	$f+c+o+p+n$: miel $= 100 : 0$
35 6	$f+c+o+p+n : o+p+n = 100 : 17$
25 } 31 6	$f+c+o+p+n : f+c = 100 : 80{,}6$ $f+c+o+p+n : o+p+n = 100 : 19{,}4$
20 0 0 19	$f+c+o+p+n$: miel $= 100 : 0$ $f+c+o+p+n$: miel $= 100 : 0$ $f+c+o+p+n : f+c+$ miel $= 100 : 95$

(1) Je donne, page 1229, la raison à laquelle j'attribue ce rapport plus élevé.

La décorollation, dans les expériences I à X, n'empêchait pas les fleurs d'être encore assez voyantes, ainsi que nous l'avons expliqué : le terme $f + c$ n'y était donc pas éliminé, mais seulement réduit dans une certaine mesure, et nous l'avons représenté par $\frac{f+c}{x}$.

Dans l'expérience XXII, deux Dahlias seulement, piqués dans du miel, étaient en concurrence avec un bouquet assez gros de fleurs naturelles : le terme $f + c$ n'était donc pas égal dans les deux cas, et il y avait lieu de marquer la différence en n'attribuant qu'une valeur $\frac{f+c}{y}$ à l'attraction exercée par le cristallisoir à miel orné de deux Dahlias.

Reprenant de cette série de rapports tous ceux qui présentent comme second terme les facteurs s'adressant à l'odorat et au goût $(o + p + n)$, puis tous ceux dont le second terme représente les facteurs s'adressant à la vision $(f + c)$, nous avons :

$$f+c+o+p+n : o+p+n = \left\{ \begin{array}{lll} 1^{\circ} & \text{(XIX)} & 100 : 21{,}9 \\ 2^{\circ} & \text{(XX)} & 100 : 17{,}4 \\ 3^{\circ} & \text{(XXI)} & 100 : 28 \\ 4^{\circ} & \text{(XXII)} & 100 : 20 \\ 5^{\circ} & \text{(XXIV)} & 100 : 17 \\ 6^{\circ} & \text{(XXV)} & 100 : 19{,}4 \end{array} \right\} \text{La moyenne donne } 100 : 20{,}6.$$

$$f+c+o+p+n : f+c = \left\{ \begin{array}{lll} 1^{\circ} & \text{(XIV et XV)} & 100 : 86 \\ 2^{\circ} & \text{(XX)} & 100 : 82{,}6 \\ 3^{\circ} & \text{(XXI)} & 100 : 80 \\ 4^{\circ} & \text{(XXII)} & 100 : 73 \\ 5^{\circ} & \text{(XXV)} & 100 : 80{,}6 \end{array} \right\} \text{La moyenne donne } 100 : 80{,}4.$$

La seule inspection de ces chiffres montre, d'une façon

éloquente, la constance presque parfaite de l'efficacité relative de chacun des groupes de facteurs comme moyen d'attraction sur les Abeilles, pendant toute la durée des observations et de quelque manière que ces dernières aient été variées.

Il est intéressant de rechercher à quelles proportions conduisent les observations des quelques auteurs qui ont donné des chiffres se référant à l'Abeille.

Chez Andreae, la plupart des expériences comportent une comparaison de l'efficacité du facteur couleur avec celle du facteur parfum, mais ce dernier, représenté souvent par du miel, n'a d'ordinaire exercé aucune attraction sur les Abeilles. Dans les quelques cas où un chiffre significatif de visites est obtenu, le premier terme du rapport ne comprend pas l'ensemble des attractions, et l'établissement d'une proportion analogue aux précédentes n'est donc pas possible.

Une seule expérience (p. 452) se prête à un calcul de ce genre :

Date.	Objets.	Nombre de visites d'Abeilles.	Rapport °/o.
4 juin 1902.	*Papaver orientale* naturels, visibles.	35	$f+c+o+p+n : \frac{f+c}{x} = 100 : 71,4.$
	Une grande fleur artificielle de même teinte	25	
	Papaver orientale naturels, cachés	0	

Chez Giltay, plusieurs expériences peuvent être transcrites de la manière que nous avons adoptée :

Page.	Objets.	Nombre de visites d'Abeilles.	Rapport °/₀.
380	Fleurs corollées . . .	24	$f+c+o+p+n : o+p+n = 100 : 25.$
	— décorollées . .	6	
397	Fleurs corollées . . .	20	$f+c+o+p+n : o+p+n = 100 : 20.$
	— décorollées . .	4	
399	Fleurs corollées . . .	33	$f+c+o+p+n : o+p+n = 100 : 24.2.$
	— décorollées . .	8	
402	Fleurs corollées . . .	11	$f+c+o+p+n : o+p+n = 100 : 27.$
	— décorollées . .	3 (dont 2 viennent des fleurs corollées).	

On voit que ces résultats concordent assez bien avec les miens : les légères différences proviennent de ce que les conditions ne sont pas tout à fait comparables.

Une conclusion précise se dégage donc de l'ensemble de ces résultats.

Les termes « plus attractifs » et « moins attractifs » n'avaient qu'une signification assez vague ; il est avantageux d'y substituer des données plus rigoureuses. C'est ce que nous faisons en concluant :

6° Pour l'Abeille, l'attraction exercée par la forme et le coloris des fleurs est — très approximativement — quatre fois plus forte que celle qu'exercent leur pollen, leur parfum et leur nectar réunis, de telle sorte que si

on figure par 100 l'attraction totale exercée sur elle par les fleurs les plus attractives, l'action de la forme et du coloris sera représentée par 80 environ, et celle des autres facteurs (présence de pollen, de nectar et de parfum) par 20 environ.

Institut botanique, novembre 1904.

ÉLECTION.

La Classe procède à l'élection d'un associé dans sa Section des sciences naturelles.

Les résultats des concours et des élections seront proclamés en séance publique.

PRÉPARATIFS DE LA SÉANCE PUBLIQUE.

Conformément au règlement, M. le directeur Fredericq et M. Lameere donnent lecture des communications qui figureront au programme de la réunion annuelle.

CLASSE DES SCIENCES.

Séance publique du 16 décembre 1904.

M. L. Fredericq, directeur.

M. le chevalier Edm. Marchal, secrétaire perpétuel.

Sont présents : MM. P. De Heen, *vice-directeur;* G. Dewalque, Éd. Van Beneden, C. Malaise, F. Folie, Ch. Van Bambeke, Alfr. Gilkinet, G. Van der Mensbrugghe, Louis Henry, M. Mourlon, P. Mansion, C. Le Paige, J. Deruyts, J. Neuberg, Alb. Lancaster, L. Errera, Julien Fraipont, A. Jorissen, P. Francotte, Paul Pelseneer, *membres;* Aug. Lameere, A. Gravis et Th. Durand, *correspondants.*

Assistent à la séance :

Classe des lettres et des sciences morales et politiques. — MM. G. Monchamp, *vice-directeur;* T.-J. Lamy, Paul Fredericq, Mesdach de ter Kiele, *membres;* J. Lameere, *correspondant.*

Classe des beaux-arts. — MM. G. De Groot, Gustave Biot, Henri Hymans, G. Huberti, Edgar Tinel et Xav. Mellery, *membres.*

La faune et la flore glaciaires du plateau de la Baraque-Michel (point culminant de l'Ardenne); par Léon Fredericq, directeur de la Classe des sciences de l'Académie royale de Belgique.

Les plantes aux formes trapues, aux grandes et belles fleurs, ornées des plus vives couleurs, qui sont l'orgueil des pâturages alpestres, et qui transportent de joie le botaniste habitué à la végétation moins brillante de la plaine, ces mêmes plantes épanouissent également leurs superbes corolles sur les rivages solitaires de l'Océan Glacial. Ainsi la végétation des montagnes de la Suisse présente, au voisinage des neiges éternelles, une ressemblance singulière avec celle des régions circumpolaires (1). On chercherait en vain cette riche parure florale dans les vastes espaces intermédiaires.

Plusieurs botanistes éminents se sont appliqués à étudier cette singulière énigme de distribution géographique. Ils ont dressé l'inventaire de la flore des différentes régions situées au nord du *Cercle polaire arctique* et l'ont comparée à celle des Alpes, des Pyrénées et des autres sommets de l'Europe centrale. Il résulte des sta-

---

(1) Voir, par exemple, la description de la végétation de la *Nouvelle-Zemble* par VON BAER, celle de la riche flore du *Spitzberg* par NATHORST (*Beiträge d. Polarsforschung zur Pflanzengeographie der Vorzeit*, dans NORDENSKJÖLD'S STUDIEN UND FORSCHUNGEN, IV, 226). Voir aussi : S. KJELLMANN, *Aus dem Leben der Polarpflanzen* dans NORDENSKJÖLD'S STUD., VII, 462.

tistiques publiées par Oswald Heer, Christ, Hooker, etc., que les trois quarts des plantes réellement *arctiques* du nord de l'Europe, habitent également les Alpes. Réciproquement, si l'on ne tient compte que des espèces les plus caractéristiques et les plus répandues de la flore *alpine*, beaucoup plus variée que celle du Nord, près de la moitié de ces plantes sont des espèces *arctiques-alpines*, c'est-à-dire qu'elles se retrouvent dans le Nord, mais manquent dans l'intervalle.

Le règne animal nous offre d'ailleurs un phénomène analogue. Nous laissons de côté les animaux supérieurs, gibier dont l'homme peut avoir eu intérêt à restreindre ou à modifier l'aire de distribution géographique, pour ne considérer que la foule des humbles; nous sommes frappés de l'étroite parenté qui existe entre la faune des êtres inférieurs, des Insectes par exemple, qui habitent les montagnes de l'Europe tempérée et celle des plaines du Nord (1).

---

(1) Fabricius s'était basé sur la relation qui existe entre les êtres organisés vivant sur les sommets neigeux des hautes montagnes et sur les terres basses et glaciales du nord de l'Europe et de l'Amérique, pour établir son *Climat alpin* Gmelin avait conclu des mêmes faits, en 1747, que les espèces animales et végétales devaient avoir été créées à la fois en plusieurs points du globe. Wahlenberg, élève de Linné, avait également, l'un des premiers, poursuivi le parallèle entre la végétation du Nord et celle des Alpes. Mais les données statistiques les plus complètes concernant ce parallèle sont dues à Hooker, à Christ et à Oswald Heer.

Oswald Heer (*Ueber die nivale Flora der Schweiz* [Nouv. mém. Soc. helv. des sc. nat., 1885, XXIX]) admettait en Suisse 337 plantes phanérogames *nivales*, c'est-à-dire vivant au-dessus de 8000 pieds (2500 mètres). De ces 337 espèces, 150, ou près de la moitié, sont

Les mêmes espèces caractéristiques de Papillons, *Parnassius, Erebia, Colias, Argynnis,* les mêmes Mouches,

---

communes aux Alpes et aux régions *arctiques*. Mais il convient d'en défalquer 28 espèces qui vivent aussi dans la plaine et existent dans les pays intermédiaires. Restent 122 espèces de Phanérogames purement *arctiques-alpines*.

Hooker (*Outlines of the distribution of arctic plants* [Trans. Linn. Soc. of London, Juni 1860]) compte 586 plantes européennes du *Cercle arctique*. 335 espèces se retrouvent également dans la partie basse de l'Europe tempérée : on ne peut donc en retenir que 251 comme réellement *arctiques*. De ces 251 espèces arctiques, 191, c'est-à-dire près des trois quarts, se retrouvent également dans les Alpes et sont donc des plantes *arctiques-alpines*. Une notable partie du fond de la végétation *nivale* de la Scandinavie se retrouve sur les sommets neigeux des Alpes.

H. Christ, auquel on doit un travail d'ensemble (*Ueber die Verbreitung der Pflanzen der Alpinen Region der europäischen Alpenkette.* [Mém. Soc. helv. des sc. nat., 1867, XXII, 1-85, 1 planche]) sur le même sujet, arrive à des résultats analogues. La flore *alpine* des montagnes du centre de l'Europe compte, d'après lui, 693 espèces de Phanérogames ou de Cryptogames vasculaires; 271 se retrouvent dans le nord de l'Europe ou sont circumpolaires.

Cette flore *alpine-arctique* comprend la moitié au moins des espèces (93 sur 172) les plus répandues et les plus caractéristiques des Alpes; elle comprend également la moitié au moins (125 sur 287) des espèces dont l'aire de distribution s'élève le plus haut dans les Alpes.

Les espèces *alpines* qui ne se retrouvent pas dans le Nord ont une aire de distribution en général assez restreinte. Quelques-unes sont rares. Voir aussi John Ball, *On the origin of the flora of the european Alps* (Proc. R. geogr. Soc., etc., 1879, p. 7); Griesebach, *Vegetation der Erde,* I, p. 7; A. Pokorny, *De l'origine des plantes alpines,* trad. Preudhomme de Borre, dans Schrift. d. Ver. z. Verbreit. Naturw. Kennt. Wien, 1868, VIII, p. 193.

les mêmes Hyménoptères voltigent autour des mêmes plantes dans les hauts pâturages des Alpes et sur le tapis fleuri des prairies de la Laponie et de la Sibérie (1).

---

(1) Pour la distribution des Insectes, spécialement des Lépidoptères *arctiques-alpins*, voir :

A. et G. Speyer, *Geogr. Verbreit. d. Schmetterlinge Deutschlands und der Schweiz*, 1858.

Fr. Rühl et Al. Heyne, *Die palaearkt. Grossschmetterlinge.* Leipzig, 1895.

Th. O. Staudinger u. Rebel, *Catal. d. Lepid. des palaearct. Faunengebietes*, I, Berlin, 1901.

Arnold Pagenstecher, *Die Lepidopteren des Nordpolargebietes* et *Die Lepidopteren des Hochgebirges* (Jahrb. d. Nassau. Ver. f. Naturk. Wiesbaden, 1897, Jahrg. 50, 181-240; 1898, Jahrg. 51, 91-178); et *Die arktische Lepidopterenfauna.* Jena, Fischer, 1901, II, 199-400, dans Fauna arctica, de Fr. Römer et Fr. Schaudinn.

Frey, *Die Schmetterlinge der Schweiz.*

Ernst Hofmann, *Die Isoporien der europäischen Tagfalter.* (Jahresh. d. Ver. f. Vaterl. Naturk. in Württemberg, 1873, XXIX, 255-304, Taf. I-II.)

Petersen, *Die Lepidopterenfauna des arktischen Gebietes von Europa und die Eiszeit.* Saint-Pétersbourg, 1887.

H. Christ, *Die Papil. Nordam. in i. Bez. z. d. d alten Welt.* (Bull. Soc. ent. suisse [6 oct. 1895], 1897, IX, 269-298.)

Graeffe, *Vergleichung der Papilioniden Fauna der Hochalpen mit derjenigen des hohen Nordens.* (Z. deut. Öst. Alpenver., 1880.)

Gr. Groum Grshimaïlo, *Le Pamir et sa faune lépidoptérologique.* Saint-Pétersbourg, 1890, xvii-375 pp., 21 pl., formant le tome IV des Mém. sur les Lépidoptères, rédigés par N.-M. Romanoff.

Aurivillius, *Das Insectenleben in arktischen Länder.* (Nordenskjöld's Studien und Forschungen. Leipzig, 1885, VI, 387.)

Aurivillius, *Grönlands Insectfauna. Lepidoptera. Hymenoptera*, in Bihang till k. Svenska Vet. Akad. Handl., 1890, XV, Aff. IV, n° 1.

Les naturalistes descripteurs n'ont pas toujours tenu suffisamment compte de cette similitude des deux faunes. Il est arrivé fréquemment qu'un même insecte a été décrit sous deux noms différents, l'un appliqué aux individus capturés dans la montagne, l'autre à ceux provenant du Nord, et que leur identité n'a été reconnue que par la suite. Je me bornerai à en citer deux exemples se rapportant à

C. Heller, *Ueber die Verbreitung der Thierwelt im Tiroler Hochgebirge.* (Sitzber. d. Math. Nat. W. Cl. Wien, 1881, LXXXIII, I, 103-175.)

August Hofmann, *Die Lepidopterenfauna der Moorgebiete des Oberharzes.* (Stettiner entom. Zeit., 1888, XLIX, 133-199.)

Rütimeyer, *Ueber die Herkunft unserer Thierwelt. Die Bevölkerung der Alpen*, dans Gesammelte kleine Schriften, 1898.

O. Heer, *Ueber die obersten Grenzen des thierischen u. pflanzlichen Lebens in den Schweizer Alpen.* Zürich, 1845. — *Die Käfer der Schweiz mit besonderer Berücksichtigung ihrer geogr. Verbreitung.* (Denkschr. d. Schweiz. Naturf. Gesell., 1837, I et II.) — *Geogr. Verbreit. der Käfer in d. Schw. Alpen.*

v. Tschudi, *Thierleben der Alpenwelt,* et trad. franç. Berne, 1889.

Zschokke, *Die Thierwelt der Schweiz in ihren Beziehungen zur Eiszeit.* Basel, 1901.

Schlagintweit, *Bemerk. über die höchsten Grenzen der Thiere in den Alpen.* (Archif f. Naturgesch., 1851, XVII.)

Brauer, *Die arktische Subregion.* Jena, 1888, et les ouvrages généraux de Wallace, Huxley, Allen, Schmarda, Supan, Reichenow, Möbius, etc., etc.

Pour la faune aquatique, voir :

Forel et Duplessis, *La faune profonde des lacs suisses.* (Nouv. mém. Soc. helv., 1885, XXIX.)

Zschokke, *Die Thierwelt der Hochgebirgsseen.* (Neue Denkschr. Schweiz. Nat. Ges., 1900, XXXVII.)

Imhof, *Thierwelt der Hochalpinen Seen,* 1895.

des espèces du pays (capturées chez nous à la *Baraque-Michel*).

Amara Quenselii, petit Coléoptère carabique, très commun dans le Nord, notamment en Laponie et en Islande, avait été distingué par Zimmerman d'*Amara monticola* des Alpes. L'identité de ces deux formes ne peut être mise en doute, nous dit Erichson. On les confond aujourd'hui sous le nom d'*Amara Quenselii*. C'est une espèce qui ne se rencontre guère dans les Alpes au-dessous de 1,000 mètres. Elle est commune jusqu'au-dessus de 2,500 mètres.

De même une Libellule de montagne, décrite par feu notre confrère de Selys Longchamps sous le nom de *Somatochlora subalpina*, a été reconnue identique à *Somatochlora* (*Cordulia*) *arctica* Zetterstedt, de Laponie (1).

Remarquons aussi combien les dénominations spécifiques *arctica*, *borealis*, *lappona*, *nivalis*, sont fréquentes sur les catalogues d'Insectes des Alpes. D'autre part les listes d'Insectes du Nord contiennent nombre de noms spécifiques, tels que *alpina*, *subalpina*, *monticola*, *montana*, etc., quoiqu'il s'agisse d'espèces arctiques de plaine.

Il existe donc un très grand nombre d'espèces, certainement plusieurs centaines, de plantes, d'insectes, etc., arctiques-alpins, qui présentent une distribution géographique des plus singulières. D'une part, elles occupent, dans les régions circumpolaires, une aire continue, couvrant de vastes espaces; d'autre part, on les retrouve, sporadiquement peut-on dire, sous forme de colonies isolées les unes des autres, cantonnées sur les différents sommets des Alpes, des Pyrénées, des Carpathes, etc.

---

(1) *Ann. Soc. ent. Belg.*, 1882, t. XXVI, p. 8.

Entre ces deux domaines, celui de la plaine boréale et celui de la montagne alpestre, s'étend une vaste lacune, comprenant l'ouest et le nord de la France, la plus grande partie des îles Britanniques et de la Belgique, la Hollande, le Danemark et la plaine sarmato-germanique, où les plantes et animaux arctiques-alpins font défaut plus ou moins complètement.

Mais l'étendue de cet hiatus présente des variations notables suivant les espèces que l'on considère. La plupart des fleurs qui donnent à la végétation des Alpes son cachet particulier, ainsi qu'un grand nombre d'insectes qui vivent sur ces mêmes fleurs, ne se retrouvent comme espèces boréales que dans l'extrême Nord, au delà du cercle polaire, en Laponie, à la Nouvelle-Zemble, en Sibérie. D'autres espèces nivales sont moins exigeantes, et leur habitat boréal s'étend parfois fort loin des régions arctiques. Il peut s'avancer dans la plaine germanique jusqu'au pied des montagnes qui la bornent vers le Sud, de sorte que l'hiatus qui sépare les aires de distribution boréale et alpestre peut être réduit au minimum en certains points, ou même disparaître.

Voici par exemple *Colias Palæno* L., joli papillon diurne, aux ailes d'un jaune soufré, bordées de noir. C'est une espèce circumpolaire, un insecte de plaine dans le nord de l'Europe, de l'Asie et de l'Amérique. On le retrouve comme insecte de montagne sur les principaux sommets de l'Europe centrale (Pyrénées, plateau central de la France, Alpes de Savoie, de Piémont, de Suisse, de Bavière, d'Autriche, Vosges, Palatinat, Baraque-Michel, plateau de Saint-Hubert, Forêt-Noire, Thüringerwald, Fichtelgebirge, Erzgebirge, Riesengebirge, Bukovine).

A l'ouest, la distance qui sépare l'habitat alpestre de cet insecte, en France et en Belgique, de son habitat septentrional, en Scandinavie, est considérable; l'espèce man-

Fig. 1. — Habitat circumpolaire de *Colias Palæno.*

que dans les Iles Britanniques, la Hollande et tout l'ouest de l'Allemagne. Elle n'existe même pas dans l'Eifel, le Taunus, le Harz. Mais vers l'Est, cette lacune devient fort étroite. Les stations de la plaine de Silésie, où l'on capture *Colias Palæno*, sont à quelques lieues seulement des montagnes de Bohême et de Silésie, où on le retrouve comme espèce alpestre (1).

---

(1) On remarquera sur la figure 2 que la limite méridionale et occidentale de l'aire de distribution boréale de *Colias Palæno* suit l'allure des isothermes d'*hiver* (elle coïncide à peu près avec l'iso-

Agabus congener Payk., petit Coléoptère aquatique, commun dans toute la chaîne des Alpes, est également propre au nord de l'Europe; on l'y rencontre vers le sud jusque sur les bords méridionaux de la Baltique.

---

therme de −2° de janvier) et nullement celle des isothermes d'*été* (qui coïncident plus ou moins avec les parallèles en Europe).

Le papillon semble ne pas craindre les chaleurs de l'été (en juillet il fait aussi chaud à Moscou qu'à Bruxelles); mais il faut sans doute à ses œufs le froid intense et prolongé de l'hiver du Nord-Est de l'Europe. Il serait intéressant de soumettre cette supposition au contrôle direct de l'expérience.

Fig. 2. — Distribution géographique de *Colias Palæno* en Europe.

Pour d'autres espèces alpines, cette lacune peut même disparaître.

Le Lézard vivipare (*Lacerta vivipara*) est un animal de plaine en Suède, Danemark, Russie, Allemagne du Nord, Hollande et jusque chez nous, puisqu'on le rencontre dans nos dunes du littoral et de la Campine et qu'il n'est pas rare aux environs de Gand, d'Anvers et de Bruxelles, notamment dans la forêt de Soignes. Si l'on s'avance vers le sud, on ne le trouve plus guère qu'à partir d'une certaine altitude. En Suisse et dans l'Allemagne du Sud, les naturalistes le considèrent comme un animal essentiellement alpestre, propre à la haute montagne, d'où le nom de *Bergeidechse* (lézard de montagne). Dans les Alpes et les Pyrénées, il ne descend guère au-dessous de 1,000 mètres et monte à plus de 3,000 mètres, s'avançant ainsi jusqu'au-dessus de la limite des neiges éternelles (1).

Dans l'est et le sud-est de notre pays, ce caractère alpestre du Lézard vivipare commence déjà à se dessiner. Ainsi, dans la province de Liége, on ne le trouve que dans les parties élevées de l'Ardenne, sur le plateau des Hautes-Fagnes. Il manque dans les parties plus basses et plus chaudes des vallées de l'Amblève, de l'Ourthe, de la Vesdre et de la Meuse, où il est remplacé par le Lézard des murailles *(Podarcis muralis)*.

Pour beaucoup d'autres espèces arctiques-alpines, notre Campine anversoise (Calmpthout) et limbourgeoise (Genck) constitue également, grâce à son climat particulièrement rude, l'extrême limite méridionale de l'habitat septentrional. Le caractère boréal de sa faune et de sa

---

(1) Zschokke, *Die Thierwelt der Schweiz in ihren Beziehungen zur Eiszeit*. Basel, 1901.

flore les rapproche de celles de l'Ardenne, où les mêmes espèces de plantes et d'insectes reparaissent, mais comme espèces de montagnes. Citons parmi les plantes nivales de la plaine campinienne : *Arnica montana* (?), *Vaccinium uliginosum* (?), *Viola palustris*, *Juncus filiformis* et *squarrosus*, *Scirpus caespitosus* et les espèces arctiques-pyrénéennes *Myrica gale* et *Narthecium ossifraga;* et parmi les Insectes : *Satyrus davus (tiphon)*, *Anchomenus (Agonum) ericeti*, *Bembidium nigricorne* Gyll., *Eristalis rupium* Fabr., *Leucorrhinia dubia* Vanderl., *Aeschna juncea* L., *Chloroperla grammatica* Scop., *Diplax pedemontana* All., *Agrion lunulatum* Charp., *Nehalennia speciosa* Charp., *Neuronia ruficrus* Scop., etc. Nous possédons ainsi en Belgique pour certaines espèces animales et végétales, une station dans la plaine campinienne, faisant partie de l'*habitat boréal,* et une *station de montagne* sur les sommets de l'Ardenne.

L'existence d'une faune et d'une flore arctiques-alpines, développées à la fois dans les Alpes et dans les régions polaires, cette double aire de distribution constitue un problème des plus intéressants de la géographie zoologique et botanique. Comment les animaux et les plantes nivales ont-ils pu franchir l'énorme intervalle qui parfois sépare leurs stations alpestres de leur patrie boréale?

Les conditions naturelles de dissémination des êtres vivants ou de leurs germes par les différents agents connus actuellement sont incapables de nous donner la clef de l'énigme. On ne peut arriver à la résoudre qu'en tenant compte des changements qui se sont produits au cours des âges dans le climat de nos régions et dans la distribution des êtres vivants (O. Heer).

A une époque récente, il y a tout au plus quelques

centaines ou quelques milliers de siècles, alors que l'homme existait déjà, l'Europe a traversé, comme on le sait, plusieurs périodes caractérisées par une extension considérable des glaciers, une grande humidité de l'air et un abaissement plus ou moins marqué de la température. Les glaciers de la Suisse débordaient jusque sur les pays voisins : le Jura, les Vosges en étaient couverts, il en allait de même de l'Écosse. La Scandinavie, la Finlande et tout le nord de l'Allemagne disparaissaient également sous une vaste calotte de neige et de glace. Les blocs erratiques de la plaine sarmato-germanique proviennent du glacier scandinave et en jalonnent l'ancienne extension (1).

Les pays intermédiaires comme le nôtre, où l'on n'a pas trouvé jusqu'à présent les traces directes de la présence d'anciens glaciers, ne subirent pas moins l'influence du refroidissement. La faune et la flore en furent profondément modifiées.

On retrouve, en effet, dans les sédiments de l'époque quaternaire les restes des animaux et des plantes nivales appartenant à la faune arctique actuelle ou à celle des montagnes. Rien que dans notre pays, on a exhumé les ossements du *Renne*, du *Wapiti*, du *Bœuf musqué*, de l'*Elan*, du *Glouton boréal*, du *Lagopède des neiges*, du *Chocard*, de la *Chouette Harfang*, du *Chamois*, du *Bouquetin*, de la *Marmotte*, du *Lemming*, du *Spermophile*, du *Campagnol des neiges*, espèces qui ne se retrouvent plus aujourd'hui que dans le Nord ou sur les sommets des Alpes. A cette époque, la faune et la flore nivales s'étendaient d'une façon ininterrompue sur une grande partie

---

(1) Les blocs erratiques de Campine semblent provenir du glacier écossais.

de l'Europe, entre les glaciers du Nord et ceux des montagnes de l'Europe centrale.

Le relèvement de la température qui marqua la fin de la dernière époque glaciaire amena la réduction progressive ou l'extinction des anciens glaciers. Sous peine de périr sur place, les animaux et les plantes nivales sténothermes durent suivre pas à pas le mouvement de retraite du domaine de la neige et de la glace. Cette émigration se fit dans deux directions : une partie des animaux et des plantes se déplaça vers le Nord, où on les trouve encore : ce fut le cas du *Renne*, du *Bœuf musqué*, du *Lemming*, etc. En même temps, le *Chamois*, la *Marmotte*, le *Bouquetin* gagnèrent les Alpes et les autres montagnes à glaciers de l'Europe centrale. Bon nombre d'animaux suivirent à la fois les deux courants. Le *Lagopède* (*Lagopus mutus* Leach), le *Lièvre blanc* et tant d'insectes et de plantes survivants de la période glaciaire se retrouvent aujourd'hui à la fois dans le Nord et dans les Alpes et ont actuellement, comme nous l'avons vu, deux patries séparées l'une de l'autre.

Mais il n'est pas nécessaire d'aller jusque sur les sommets des Alpes ou de remonter dans l'extrême Nord pour retrouver certains restes de l'ancienne population nivale de nos régions. Quelques montagnes d'importance secondaire, les Vosges, la Forêt-Noire, les monts de la Thuringe, le Harz, situés presque à nos portes, leur ont servi également de refuge. Nous possédons en Belgique, sur le principal sommet de l'Ardenne, le plateau de la Baraque-Michel, un de ces endroits privilégiés; nous y trouvons une colonie animale et végétale qui a persisté depuis les temps quaternaires sur le point le plus élevé de notre territoire.

Le plateau de la Baraque-Michel s'étend à quelques

kilomètres au sud-est de Spa, en partie en Belgique, en partie en Prusse (1). Son point culminant, situé à 3 kilomètres de notre frontière sur le territoire allemand, s'élève à 691 mètres (signal de Botrange). La partie subalpine, dont le niveau dépasse 500 mètres, couvre, sur le plateau proprement dit, une superficie de plus de 100 kilomètres carrés, mais se prolonge vers l'ouest dans la direction de Remouchamps et vers le nord-est du côté de Montjoie. Le sol y est constitué de quartzites et de phyllades cambriens appartenant à l'étage revinien de Dumont. En un seul point, dans la vallée de la Helle, au Grand-Bongard, le granite primitif perce les couches cambriennes et apparaît au jour sous forme d'un lambeau de peu d'étendue. L'altération des phyllades reviniens a formé un sous-sol à peu près imperméable; comme la pente est faible, les eaux de surface séjournent sur place et ont donné naissance à de vastes bruyères tourbeuses connues sous le nom de *Hautes-Fagnes* (de la racine germanique, *Veen*, vehn, tourbière) ou Hautes-Fanges.

Le climat est d'ailleurs fort humide; le nombre de jours de pluie n'est pas beaucoup plus élevé que dans le reste du pays, mais les précipitations atmosphériques

---

(1) Pour la topographie, consulter les cartes belges (Institut cartographique militaire) au 20 000e (planchettes *Limbourg* [XLIII-5], *Hestreux* [XLIII-6-7], *Baraque-Michel* [L, 2-3], *Sart* [L, 1]) et au 40 000e (*Limbourg*, XLIII, et *Stavelot*, L), les feuilles 136 et 149 (*Limbourg-Hestreux-Brandehaeg*) de la *Carte géologique de la Belgique* et les cartes prussiennes au 25 000e (*Ternell*, 3150, *Montjoie*, 3151, *Malmédy*, 3206, *Elsenborn*, 3207).

M. Leblanc, sculpteur, à Liége, a exécuté, sous ma direction, un relief au 20 000e du plateau de la Baraque-Michel.

sont toujours copieuses, de sorte que la quantité d'eau recueillie annuellement atteint 1200 millimètres et dépasse notablement celle qui tombe à Bruxelles ou à Liége (1).

Les ruisseaux qui drainent le flanc nord et ouest du plateau, la *Helle*, la *Sore*, la *Gileppe*, la *Hoegne*, versent leurs eaux dans la *Vesdre*. Du côté méridional naissent la *Warche*, l'*Eau Rouge* et le *Roannai*, qui appartiennent au bassin de l'*Amblève*. Enfin, à l'est, nous trouvons les sources de la *Roer*.

En raison de la nature du sol, le climat de l'Ardenne est beaucoup plus rude que ne le comporte la latitude et l'altitude (2).

La température moyenne annuelle est trop froide d'un demi-degré environ; à la Baraque-Michel, elle est de 6°2 (au lieu de 6°7). Mais comme la différence ne se fait sentir qu'en hiver, au lieu d'être répartie sur toute l'année, elle y accumule ses effets.

L'Ardenne se refroidit en hiver d'une façon anormale, nous dit notre confrère A. Lancaster (3), beaucoup trop

---

(1) D. Vanhove, *Étude pluviométrique sur le bassin de la Meuse.* (Mém. cour. de l'Acad. roy. de Belgique, 1904, LXII, 1-30, 1 pl., p. 28.) P. Polis, *Contributions à la climatologie des Hautes-Fagnes et de l'Eifel.* (Ciel et Terre, 1901-1902, XXII, 583.) La hauteur annuelle de la pluie atteindrait 1478 millimètres à Botrange (695 mètres) et 1396 millimètres au Mont-Rigi (675 mètres).

(2) Houzeau, *Essai d'une géographie physique de la Belgique,* in-8°, 1854.

(3) A. Lancaster, *Le climat de l'Ardenne.* (Annuaire météorol. pour 1901. Bruxelles, Hayez, p. 328.)

Les noms locaux de Kalterherberg, Kalteborn et Sourbrodt rappellent cette rudesse du climat.

accentuée, et la dépense de chaleur exagérée qu'elle éprouve se traduit en janvier par une moyenne thermométrique trop faible de 3 degrés. La région des lacs de Suède, située à 10 degrés de latitude plus au nord, n'est pas plus froide en janvier que la haute Ardenne. Il n'est donc pas étonnant que, malgré sa faible altitude, elle ait conservé à une partie de sa faune et de sa flore un cachet franchement alpin ou subalpin. Ce caractère est particulièrement marqué au printemps. Aussi choisirons-nous une belle journée du mois de juin pour entreprendre l'excursion de la Baraque-Michel.

On aborde le plus facilement le plateau de la Baraque-Michel par la ligne de Spa. A partir de la station de Sart, le train gravit en soufflant la longue rampe qui conduit au plateau, longeant à gauche la pittoresque gorge boisée, au fond de laquelle bouillonne la Hoegne. Bientôt le paysage s'élargit et le fauve tapis de la fagne apparaît à l'horizon. Mais ce n'est qu'une vision rapide, et le train s'engouffre brusquement dans la profonde tranchée du Hockai, qui nous donne en passant un aperçu du sous-sol de la région que nous allons parcourir : quartzites et phyllades reviniens défilent rapidement sous nos yeux. Sur le haut de la tranchée, un reste de terrain crétacé réduit à sa plus simple expression : quelques maigres débris de silex.

Nous voici rendus à destination. La station du Hockai, où nous descendons, est la plus élevée du territoire belge (550 mètres). Au moment où nous franchissons pédestrement le pont du chemin de fer, une échappée en arrière, dans la direction de la tranchée que nous venons de parcourir, nous permet d'apercevoir un bout de fagne lointaine, avec tout au fond une minuscule tache rouge,

se détachant à l'horizon. C'est le toit de la fameuse Baraque-Michel, qui sera aujourd'hui le terme de notre pèlerinage scientifique.

Nous traversons le village aux pittoresques maisons ardennaises enfouies sous leurs grands toits de chaume ou d'ardoises, protégées contre les bourrasques de neige, sur trois de leurs faces, par d'énormes haies de hêtre formant écran. Une odeur de tourbe brûlée nous accompagne.

Au sortir du village, le sentier chemine à travers de maigres pâturages, où nous saluons notre première rencontre franchement alpine. Voici les blanches ombelles du *Meum athamanticum*, espèce de fenouil de montagne, à feuilles aromatiques finement découpées.

Devant nous se déroule le panorama sévère des Hautes-Fagnes, rappelant certains aspects de la Campine limbourgeoise; c'est un vaste bassin de bruyères tourbeuses, dont les tons ocreux (graminées) et brun-van-Dyck (bruyères) s'allongent jusqu'à l'horizon. La dépression centrale est peu marquée; sur les côtés, la fagne se relève en pente douce, encadrée par des bouquets de Conifères; à droite, le bois Longloup; tout au fond deux lignes sombres marquent les massifs d'Épicéas qui avoisinent l'auberge dite du Mont-Rigi. A droite de ces massifs on peut apercevoir la pointe du signal géodésique de Botrange. C'est un échafaudage en bois, élevé au point culminant du plateau, sur territoire prussien (691 mètres) (1).

---

(1) L'échafaudage avait été abattu par le vent en septembre 1903; il a été reconstruit sommairement en 1904.

Dans le creux de cette large cuvette marécageuse coule la Hoegne, dont le cours se devine çà et là aux groupes d'arbustes rabougris et de broussailles qui parsèment les bas-fonds de la plaine.

Notre chemin dévale au pont rustique de la Hoegne, sous lequel coule une eau dont la teinte légèrement brunâtre trahit l'origine tourbeuse. Le ruisseau qui descendait paisiblement de la fagne suivant la direction Est-Ouest, tourne ici brusquement vers le Nord et s'engage dans une gorge profonde, où il forme une série de cascatelles écumantes. L'endroit est fameux dans les fastes de l'entomologie liégeoise. C'est ici que Henri Donckier a trouvé en 1870 *Agabus congener*, un des Coléoptères aquatiques les plus caractéristiques de la faune nivale. J. Gérard y a capturé les deux seuls exemplaires belges connus de *Corymbites virens*. de Selys-Longchamps a pris dans le voisinage *Somatochlora alpina*. C'est un des rares points de la Fagne où l'on rencontre *Polyommatus amphidamas*. J'y suis allé bien souvent en société de feu notre confrère E. Candèze, ou avec J. Fraipont, J. Hamal, Gérard, etc. Nous ne nous attarderons pas beaucoup à explorer les eaux du ruisseau, qui sont fort pauvres en plantes et en animaux. Je n'ai trouvé aucun Mollusque, ni dans la Hoegne ni dans les ruisseaux qui s'y jettent. Quant à la faune malacologique terrestre du plateau, elle est représentée par quelques rares exemplaires de limaces (*Arion rufus*, *A. subfuscus*). Les Escargots sont inconnus dans les potagers du Hockai, de Sourbrodt et des autres villages ou hameaux étagés aux flancs du plateau.

L'Amblève, la Roer et leurs affluents, la Warche, la

FIG. 3. — Distribution géographique de *Planaria gonocephala* et de *Polycelis cornuta* dans les ruisseaux entre Liége et la Baraque-Michel. Les ruisseaux sans planaires sont barrés en travers.

Salm, le Perlenbach, etc., sont un peu plus riches en Mollusques. Le plus intéressant est sans contredit la Mulette perlière (*Margaritana* [*Unio*] *margaritifer*), qui fait encore actuellement l'objet d'une pêche plus ou moins active de la part des riverains. Les perles qu'on y rencontre, sans valoir les perles orientales, trouvent cependant à s'écouler chez les bijoutiers liégeois (1).

L'*Unio margaritifer*, nous dit Voigt, doit être considérée comme un survivant authentique de l'époque glaciaire, à en juger par son habitat actuel : espèce de plaine dans les régions circumpolaires, espèce de montagnes dans l'Europe centrale (2).

Mais si la Hoegne ne contient pas de Mollusques, on y trouve en revanche des larves d'insectes, et surtout un Ver turbellarié, le *Polycelis cornuta*, qu'on doit, à l'égal d'*Unio margaritifer*, regarder comme un témoin survivant de la période glaciaire. *Polycelis cornuta* est très commun sous les pierres dans tous les ruisseaux qui descendent du plateau. Plus bas, c'est-à-dire à partir de l'altitude de 300 mètres environ, par exemple au bord du lac de la Gileppe, *Polycelis cornuta* disparaît et est remplacé par *Planaria gonocephala*, espèce postglaciaire, que l'on rencontre abondamment jusqu'à Liége, dans tous les ruisseaux qui se jettent dans l'Amblève, dans l'Ourthe et dans la Vesdre, comme le montre la carte de la figure 3.

---

(1) *Perlenbach, Perlenau*, dans le voisinage de Montjoie, doivent sans doute leur nom à la pêche des moules à perles.

(2) Walter Voigt, *Ueber Thiere die sich vermuthlich aus der Eiszeit her in unseren Bächen erhalten haben.* (Verh. d. naturhist. Ver. der preuss. Rheinl., 1895, LII, 234-244.)

Voigt a appelé l'attention sur la concurrence que se font dans l'Eifel, dans le Siebengebirge et dans le Rhön, les deux espèces citées, ainsi qu'une troisième, à caractère alpin encore plus accentué, *Planaria alpina* (1). *Planaria alpina* a été trouvée près de nos frontières, notamment au pied du Mosenberg, près de Manderscheid. Je ne désespère pas de la rencontrer en Belgique, quoique je l'aie vainement cherchée au plateau de la Baraque-Michel et à celui de la Baraque de Fraiture.

Polycelis cornuta et *Planaria alpina* sont pour nous des espèces glaciaires, d'abord parce qu'elles remontent fort haut dans les Alpes, et puis parce que leur reproduction sexuelle ne se fait qu'en hiver. Ce sont les mêmes raisons de distribution géographique, jointes à la reproduction hivernale, qui doivent faire considérer notre Truite commune (*Salmo fario* L.) comme un représentant de cette même faune glaciaire.

Mais quittons momentanément les bords de la Hoegne

---

(1) Walter Voigt, *Planaria alpina bei Bonn.* (Verh. d. naturh. Ver. der preuss. Rheinl., 1891, XLVIII.) — *Karten über die Verbreitung von Planaria alpina und P. gonocephala im Siebengebirge und am Feldberg und Altkönig im Taunus.* (Ibid., 1892, XLIX, 104.) — *Die Eiwanderung der Planariaden in unseren Gebirgsbäche.* (Ibid., 1896, LIII, 103-140.) — *Anhang. Verbreitung v. Planaria gonocephala, P. alpina und Polycelis cornuta in den Gebirgen des Westlichen Mitteldeutschlands.* (Ibid., 1896, LIII, 140-148, Taf. IV.) — *Die Ursachen des Aussterbens von Planaria alpina im Hundsrückgebirge und von Polycelis cornuta im Taunus.* (Ibid., 1901, LVIII, 223-246, 2 fig.)

F. Leydig, *Ueber Verbreitung der Thiere im Rhöngebirge und Mainthal mit Hinblick auf Eifel und Rheinthal.* (Verh. d. naturh. Ver. der preuss. Rheinl., 1881, XXXVIII, 42-182.)

et enfonçons-nous bravement dans le tapis végétal spongieux qui constitue le sol des prairies tourbeuses et fort humides de la rive gauche en amont du pont. Ces prairies sont parsemées de groupes d'arbustes rabougris, Saules, Bouleaux, Sorbiers, buissons de Chêne, par-ci par-là une sombre silhouette de Sapin ou de Genévrier (1). Nous marchons sur une couche moelleuse de *Sphagnum* du plus beau vert, d'où émergent à l'envi les élégants panaches du Trèfle d'eau (*Menyanthes trifoliata*), les pompons roses de la Bistorte (*Polygonum bistorta*), les hampes fleuries des Orchidées (*Orchis*) blanches ou pourpres (*Platanthera montana* et *bifolia*), les fleurs de Coucou, les Myosotis et plus loin les corolles brunâtres du *Geum rivale*. Voici *Oxycoccos palustris*, *Andromeda polifolia* et les houppes blanches des Linaigrettes (*Eriophorum angustifolium*, *E. vaginatum*). Dans les parties un peu moins humides, *Vaccinium myrtillus* et *Vaccinium Vitis-Idæa*, enfin les

---

(1) La flore du plateau de la Baraque-Michel a été étudiée au commencement du XIXe siècle par Mlle Libert, de Malmédy, et par Lejeune (*Flore des environs de Spa*).

Houzeau donne un tableau de la végétation des Hautes-Fagnes dans son *Essai d'une géographie physique de la Belgique*.

On pourra consulter également, outre les flores de Belgique, notamment celle de Crépin :

Kaltenbach, *Flora des Aachener Beckens*. Aachen, 1845; et surtout Siegers, *Zusammenstellung der bei Malmedy vorkommenden Phanerogamen und Gefässcryptogamen*. Malmédy, 1885, 4°, 1-32.

Voir aussi : Durand et Donckier, *Matériaux pour servir à la flore de la province de Liége*, 1874; Kirtgen, *Flora der preuss. Rheinprovinz*; Durand, *Catalogue de la flore liégeoise*, 1878; Durand et Delogne, *Les sphaignes et les hépatiques de la flore liégeoise*, 1883.

espèces plus spécialement alpines (1), telles que *Arnica montana*, *Vaccinium uliginosum*. *Narthecium ossifraga*, *Trientalis europæa*, *Viola palustris*, également alpines, sont surtout abondantes dans les endroits tourbeux. Ces belles espèces sont assez nombreuses en individus pour imprimer par places, au fond de la végétation, un caractère alpestre. Les Papillons, Argynnes, Coliades, Érébies, Polyommates, d'autres insectes de montagnes, Libellules, Mouches, Coléoptères s'envolent de toute part sous nos pas et complètent le tableau; on se croirait dans une prairie des Vosges. C'est le paradis du botaniste et de l'amateur d'insectes.

Nous avions décidé un jour de nous livrer à un petit travail de statistique entomologique. Nous devions, par une belle matinée du mois de juin, capturer indifféremment tous les papillons tels que le hasard les amènerait dans nos filets; puis un dénombrement des individus appartenant à des espèces alpines ou subalpines, comparé au nombre des individus appartenant à des espèces banales, devait nous fixer sur l'importance du caractère alpin de la faune entomologique. Nous renonçâmes bien vite à notre projet. Presque tous les insectes que nous capturions appartenaient aux espèces alpines et boréales, telles que *Colias Palæno, Argynnis Aphirape*, *Argynnis Arsilache*, *Argynnis Ino*, *Erebia Medusa*, *Polyommatus Helle* (usés), *Polyommatus Hippothoe*, auxquelles se mêlaient seulement quelques rares exemplaires d'espèces

---

(1) *Gymnadenia albida, Ajuga pyramidalis* et quelques autres plantes alpestres n'ont ici que des stations fort espacées, peu nombreuses en individus.

vulgaires : *Melitaea Aurinia*, *Argynnis Selene*, *Satyrus Pamphilus*, *Thecla Rubi*, *Cartherocephalus Palaemon*, etc.

J'ai cité de préférence les Lépidoptères diurnes parce que leur distribution géographique est beaucoup mieux connue que celle des insectes appartenant à d'autres groupes. Mais l'étude des Coléoptères, des Diptères, des Névroptères, etc., du plateau entreprise depuis plusieurs années, principalement par les amateurs liégeois, a conduit à une série de découvertes tout aussi intéressantes et dont on trouvera la nomenclature plus loin.

C'est principalement au printemps que certains coins bien abrités de la Fagne revêtent cette riche parure florale sur laquelle voltigent de nombreux représentants de la faune alpestre et boréale. Plus tard, la plupart des plantes alpines seront défleuries et la faune aura pris également un cachet plus banal. Les dernières espèces subalpines de Lépidoptères diurnes, *Erebia Ligea* et *Coenonympha Tiphon*, disparaissent dès la fin de juillet.

Nous traversons la Hoegne sur quelques blocs de quartzite revinien qui parsèment le cours de la petite rivière. Nous retrouverons les mêmes blocs épars çà et là sur la Fagne, où leur couleur claire, tranchant sur le ton fauve de la bruyère, les signale de loin. Souvent au premier printemps, on y trouve le Lézard vivipare se chauffant au soleil. Ce représentant de la faune glaciaire est très commun, même dans les endroits les plus humides de la Fagne.

Nous remontons le coteau peu incliné de la rive droite, à travers des champs de genêts, et rencontrons successivement les stèles prismatiques numéros 148, 149 et 150, qui marquent la frontière entre la Prusse et la Belgique. Nous suivons les restes d'une ancienne voie romaine qui

longeait la crête du plateau, la voie de la *Vecquée*, et cheminons pendant plusieurs kilomètres à travers des bruyères sèches d'abord, puis de plus en plus tourbeuses. Le pays est découvert et privé de végétation arborescente; aussi les récoltes d'insectes sont moins fructueuses ici que dans les creux bien abrités qui longent la Hoegne. Cependant de nombreux exemplaires de *Colias Palæno* nous croisent de leur vol rapide, luttant avec peine contre le vent.

Nous pourrons également capturer en passant quelque bonne espèce de Coléoptère élatéride ou Longicorne ou de Diptère, par exemple les superbes *Sericomyia lappona* et *borealis* qui aiment à se poser sur la tourbe fraîchement découpée.

Parfois nous ferons lever un Coq de bruyère solitaire (*Tetrao tetrix*) qui fuira de son vol lourd et saccadé. Un autre représentant de la faune glaciaire, la Grouse d'Écosse, est bien plus fréquente. Il n'est guère possible de faire une promenade quelque peu prolongée sur la Fagne, sans en rencontrer plusieurs couples. La Grouse d'Écosse (*Lagopus scoticus*) est très voisine du *Lagopède* qui existait en Belgique à l'époque quaternaire. Ce beau gibier ne figurait plus sur les listes de la faune indigène. Il a été introduit au plateau de la Baraque-Michel, il y a quelques années, par M. Herrfeldt de Spa, qui en fit venir d'Écosse plusieurs couples et les lâcha sur la Fagne. La Grouse y a trouvé en abondance l'*Erica tetralix* (1) dont elle se nourrit et y a prospéré à souhait.

Le sommet du plateau où se trouve la Baraque-Michel

---

(1) de Selys Longchamps donne l'*Airelle rouge* (*Vaccinium Vitis-Idæa*) comme nourriture favorite de la Grouse (*Bull. Ac. Belg.*, 1893, XXVI, 72).

est presque plat, de sorte qu'on n'en découvre plus les bâtiments pendant qu'on gravit les flancs du coteau. Le toit mi-partie rouge et gris de la Baraque, que nous avions aperçu du Hockai et qui nous était resté caché pendant la plus grande partie de notre excursion, nous apparaît de nouveau à une petite distance, au moment où nous nous engageons dans un étroit sentier fort humide qui circule tant bien que mal entre les tourbières. Les tranchées d'exploitation mettent la tourbe à nu sur une épaisseur assez grande. Il y aurait là matière à une étude intéressante pour l'histoire naturelle du plateau.

Près du sommet, nous atteignons à la Baraque, la grand'route de Malmédy. A partir de ce point, un rideau d'Épicéas s'étend à droite et à gauche de la chaussée sur le territoire allemand et abrite contre le vent les sorbiers qui la bordent. Ils sont encore en fleur, alors que ceux du Hokai près du pont de la Hoegne sont passés depuis plusieurs jours.

Nous ne nous arrêterons pas à la Baraque-Michel, ce petit hospice du mont Saint-Bernard belge, comme l'a appelé notre confrère de Selys Longchamps. Nous pousserons jusqu'à l'auberge du Mont-Rigi (située sur le territoire allemand à l'altitude de 674 mètres), ce qui nous donnera l'occasion de faire sur la route une nouvelle et très fructueuse moisson d'insectes subalpins, principalement de Diptères syrphoïdes, dont l'essaim bourdonnant entoure chaque Sorbier en fleur.

L'hospitalière auberge du Mont-Rigi nous permettra de goûter un repos mérité et de faire un classement provisoire de nos chasses.

Si nous en profitons pour jeter un coup d'œil en arrière et résumer notre impression générale, nous dirons qu'au cours de notre promenade nous avons revécu, en

partie du moins, une journée de printemps de la fin de l'époque quaternaire dans nos régions. La fagne actuelle est peut-être la partie du sol belge où s'est le mieux maintenu le caractère primitif et original du paysage, la main de l'homme n'y ayant guère contrarié la nature.

Les conditions particulièrement rudes du climat ont conservé sur le plateau de la Baraque-Michel une petite colonie d'espèces animales et végétales franchement glaciaires, dont les analogues ne se retrouvent que dans l'extrême Nord, ou sur les montagnes beaucoup plus hautes du centre de l'Europe.

Si la température moyenne venait à se relever de quelques degrés dans nos régions, cette colonie unique, qui vit à l'extrême limite de ses conditions physiques d'existence, disparaîtrait à tout jamais. Sa persistance depuis l'époque glaciaire nous montre qu'un tel relèvement n'a pu se produire dans le passé, et que jamais, depuis les temps quaternaires, le climat n'a été chez nous notablement plus chaud qu'à l'époque actuelle. Cette donnée scientifique contredit une opinion fort répandue, d'après laquelle notre climat se serait refroidi depuis les temps historiques.

A côté de sa florule et de sa faunule spéciales arctiques-alpines, le plateau de la Baraque-Michel nous offre un grand nombre de plantes ou d'animaux ubiquistes, que l'on rencontre communément dans la partie basse du pays; leur présence aux sommets les plus froids de l'Ardenne nous fait supposer qu'eux aussi ont vécu à l'époque quaternaire, mais qu'ils n'avaient pas les mêmes exigences au point de vue de la température que les espèces alpines-arctiques, et qu'ils ont pu se maintenir là où le relèvement de la température a fait fuir la faune nivale. Quant aux espèces assez nombreuses de la plaine belge qui

manquent au plateau de la Baraque-Michel, elles nous représentent sans doute l'élément faunistique récent et nouveau, immigré postérieurement, et provenant probablement des steppes asiatiques.

J'espère en avoir assez dit pour vous convaincre de l'intérêt que présenterait une étude systématique complète de la faunule du plateau de la Baraque-Michel et de sa comparaison avec la faune de la plaine belge.

Il me reste à remercier les personnes qui ont bien voulu me fournir des renseignements pour la rédaction de ce petit travail : MM. Severin, conservateur au Musée royal d'histoire naturelle, Lameere, professeur à l'Université de Bruxelles, Félix Plateau et Van Bambeke, professeurs à l'Université de Gand, Durand, directeur du Jardin botanique de l'État à Bruxelles, Dewalque, Julien Fraipont, Gravis, Lohest, Eric Gérard et Firket, professeurs à l'Université de Liége, Léon Dereux, avocat à Liége, Lancaster, de l'Observatoire, Brichet, sous-inspecteur des eaux et forêts à Membach, le Dr Bordet à Francorchamps, Émile Gens, professeur à l'Athénée de Verviers, Joseph Hamal, Jules Gérard, Baron Paul de Moffarts, capitaine Georges Gens et H. Schouteden, membres de la Société entomologique de Belgique, Charles Fraipont et J. Anten, étudiants à Liége.

Je tiens aussi à remercier ici MM. Ch. Aurivillius (*Stockholm*), Max Bartel (*Berlin*), E. Bergroth (*Tammerfors, Finlande*), Paul Girod (*Clermont-Ferrand*), Osk. Hensel (*Gottesberg, Silésie*), C v. Hormuzaki (*Czernowitz*), Napoléon Kheil (*Prague*), L. Kroulikowsky (*Ourjoume, Russie*), N. Mislawski (*Kasan*), Arnold Pagenstecher (*Wiesbaden*), Éd. Perrier (*Paris*), Enzio Reuter (*Helsing-*

fors), G. A. Rujade (*Paris*), Chr. Schröder (*Itzehoe-Sude, Holstein*), P. Speiser (*Bischofsburg, Prusse orientale*), O. Staudinger (*Blasewitz-Dresde*), Rud. Tancré (*Anklam, Poméranie*) pour les indications qu'ils ont bien voulu me fournir sur la distribution géographique de *Colias Palæno*, et MM. Van Bambeke (*Gand*) et Raphaël Blanchard (*Paris*) qui ont eu l'amabilité de compléter les données que je possédais sur la distribution géographique de *Lacerta vivipara*.

NOTES.

§ 1. — Historique.

Dès 1818, J.-W. Meigen, de Stolberg, dans son ouvrage : *Beschreibung der bekannten europäischen zweiflüglichen Insekten,* Aachen, Stolberg, tomes I-VII, puis tomes VIII-X, citait un certain nombre de Diptères alpins ou boréaux comme ayant été capturés près d'Eupen ou de Montjoie.

Dans ses *Europäische Schmetterlinge* (1829), le même auteur mentionne *Colias Palæno*, espèce des Alpes et de Laponie, comme se trouvant également au plateau de la Baraque-Michel, près d'Eupen.

Mais ces indications étaient inconnues des naturalistes belges. Ainsi, de Selys Longchamps ne mentionnait aucune espèce de Lépidoptère diurne subalpin dans son premier *Catalogue* publié en 1837. Dans son *Énumération des Insectes lépidoptères de Belgique,* parue en 1845 (t. II des Mémoires de la Société royale des sciences de Liége), figurent *Polyommatus Helle, P. Chryseis, Argynnis Ino,*

Erebia Medusa et *Satyrus Davus;* mais aucune de ces espèces n'est indiquée comme se trouvant au plateau de la Baraque-Michel.

Dans le *Catalogue des Lépidoptères indigènes,* publié en 1857, dans le volume I des Annales de la Société entomologique, *Argynnis Aphirape* figure comme trouvé à Saint-Hubert. Dans ce catalogue, *Polyommatus Chryseis* est qualifié d'espèce *subalpine* et *Erebia Medusa* d'espèce *alpine.* Ces deux espèces se trouveront probablement, dit le catalogue, dans toutes les parties marécageuses de l'Ardenne (pp. 12 et 27, vol. I des *Ann. Soc. entom.*).

A cette époque, Chapuis et Putzeys paraissent être les seuls entomologistes belges qui aient commencé à explorer le plateau de la Baraque-Michel. L'attention de Chapuis avait été appelée, dès 1851, sur le caractère alpestre de la faune entomologique de la vallée de la Salm, près des rochers de Hourt, lors d'une excursion faite en commun avec notre confrère G. Dewalque. De son côté, Putzeys avait pendant plusieurs années fait récolter les carabiques des environs de la Baraque-Michel.

de Selys Longchamps fait pour la première fois allusion au caractère spécial de la faune de la Haute-Ardenne dans son *Discours sur la faune de Belgique,* prononcé le 17 décembre 1854 à la séance publique de notre Classe des sciences (Bull. de l'Acad. roy. de Belgique, t. XXI, 2e sér., pp. 1020-1050).

Voici ce qu'il dit (p. 1044) de la Région de l'Ardenne : « Quoiqu'il y ait une grande analogie entre la faune du nord et celle des hautes montagnes du centre de l'Europe, je pense que notre Ardenne, sous ce rapport, est plutôt subalpine que boréale...

» La faune entomologique est riche ; c'est là que le caractère alpestre se montre à l'évidence, parmi les papillons, par exemple, qui nous offrent une Erebia (*E. Medusa*), le

Polyommate chryseis, l'Argus dorylas, le Satyre davus, l'Hespérie alveus, etc. »

Quelques années plus tard, M. Maassen, d'Elberfeld, avait capturé (*Ann. Soc. entom. Belg.*, 1870, t. XIV, pp. II, XII, LV) dans les Hautes-Fagnes belges, *Argynnis Ino*, *A. Aphirape*, *A. Pales* var. *Arsilache* et *Colias Palæno*. Ces deux dernières espèces *subalpines* venaient enrichir le catalogue des Lépidoptères belges. Il en était de même d'*Erebia Ligea* trouvée par Quaedvlieg, en 1871, à la maison Hestreux (Hertogenwald). Ces captures appelèrent de nouveau l'attention sur la faune spéciale du plateau de la Baraque-Michel.

La Société entomologique décida d'y faire, en 1871, son excursion annuelle. Elle eut lieu du 8 au 11 juillet 1871, sous la conduite de Chapuis, qui depuis plusieurs années explorait le plateau et y avait fait des découvertes très intéressantes. Dans le compte rendu de cette excursion, de Selys Longchamps insiste encore une fois sur le caractère subalpin de la faune et de la flore de la Baraque-Michel. (*Ann. Soc. entom.*, t. XIV, pp. XLIX-LXII.) Il y donne la liste des Lépidoptères, Coléoptères et Névroptères capturés.

de Selys Longchamps retournait au Hockai le 8 juin et le 5 septembre 1872 (avec le Prof^r Steenstrup), et le 4 juillet 1872 à Hestreux et sur les bords de la Sauer (*Ann. Soc. entom.*, t. XV, pp. XCIII-XCV). L'année suivante, il faisait de nouvelles communications à la Société entomologique (t. XVI, p. LXXVI) sur la faune lépidoptérologique du plateau.

MM. Ch. Donckier et L. Quaedvlieg donnaient, dans le volume XV des *Bulletins de la Société entomologique*, la *Relation de plusieurs excursions lépidoptérologiques aux Hautes-Fagnes* (16 et 30 juin, 21, 22, 23 juillet, 4 et 15 août 1872).

Dès lors, l'attention est appelée sur le caractère alpin du plateau, et tous ceux qui s'en occupent insistent à l'envi sur ce caractère. C'est Alfred Preudhomme de Borre (9 avril 1872), dans l'Introduction qu'il écrit pour le *Manuel du*

jeune lépidoptérologiste (*Les Papillons diurnes de la Belgique* de Louis Quaedvlieg, Bruxelles, Mayolez, 1873), et dans la carte de Belgique qui se trouve à la fin du volume; puis de Selys Longchamps, Breyer et Crépin, respectivement dans les articles : *Mammifères, Oiseaux* et *Reptiles, Entomologie, Géographie botanique,* qu'ils écrivent pour le volume I de la *Patria belgica,* de Van Bemmel, paru en 1873.

A partir de cette époque, nous trouvons presque chaque année dans les publications de la Société entomologique, des indications se rapportant à la faune entomologique du plateau de la Baraque-Michel.

Les amateurs liégeois visitent chaque année l'Hertogenwald et les environs du Hockai et ne cessent d'y faire des découvertes intéressantes.

§ 2. — **Flore** (1).

Parmi les *Phanérogames* citées par Christ (loc. cit.) comme plantes *alpines*, c'est-à-dire ayant leur maximum de développement au-dessus de la région des forêts, vingt espèces sont signalées par la *Flore* de Crépin comme indigènes en Belgique.

De ces vingt espèces, trois sont propres aux terrains *calaminaires* de la vallée de la *Gueule : Thlaspi alpestre* var. *calaminare, Viola lutea, Alsine verna.*

Cinq sont des raretés qui n'ont été signalées que sur un ou deux points du territoire belge : *Aconitum napellus, Draba aizioides, Empetrum nigrum, Scheuchzeria palustris, Juncus alpinus.*

Les autres caractérisent la zone subalpine belge. Ce sont :

---

(1) Pour la bibliographie, voir la note, p. 1283.

Thlaspi alpestre (1) (Grande-Bretagne, Alpes, Vosges, Jura, Auvergne, Pyrénées, Apennins).

Thaspi montanum (1)? (Amérique boréale, Scandinavie, Alpes, Carpathes, Sudètes, Jura, Auvergne).

Viola palustris (circumpolaire et alpine).

Meum athamanticum (Grande-Bretagne, Alpes, Carpathes, Sudètes, Apennins, Vosges, Jura, Auvergne, etc.).

Arnica montana (circumpolaire et alpine).

Vaccinium uliginosum (circumpolaire et alpine).

Ajuga pyramidalis (Scandinavie et Alpes).

Trientalis europea (circumpolaire et alpine).

Gymnadenia albida (Islande, Groenland, Scandinavie, Grande-Bretagne, Sibérie, Russie, Alpes, Jura, Vosges, etc.).

Juncus filiformis (arctique-alpine).

Juncus squarrosus (arctique-alpine).

Poa caesia (1)? (circumpolaire et alpine).

Scirpus caespitosus (arctique-alpine).

Il faut ajouter à ces listes deux plantes *arctiques-pyrénéennes*, qui manquent dans les Alpes : *Myrica gale*, de Campine seulement, et *Narthecium ossifraga*, de Campine et de la Baraque-Michel.

Parmi les Phanérogames vasculaires citées comme *alpines* par Christ, quatre figurent sur nos listes indigènes : *Lycopodium alpinum*, *Allosurus crispus*, *Asplenium viride*, *Aspidium Lonchitis*. Ce sont des espèces rares dont on ne connaît en Belgique qu'une ou deux habitations.

---

(1) Ces deux *Thlaspi* ne figurent pas sur la liste des plantes des environs de Malmédy, donnée par Siegers (*loc. cit.*). Il en est de même pour *Poa caesia*, trouvé autrefois aux environs de Spa. *A rechercher*, dit Crépin.

Crépin (*Manuel de la flore de Belgique*) ne signale *Thlaspi montanum* que pour la zone calcareuse. Pour *Thlaspi alpestre*, il donne l'indication RR. dans les zones ardennaise et calcareuse de Belgique.

Je pense que les botanistes belges feront bien d'adopter, à l'exemple des zoologistes, une *zone subalpine* parmi les divisions naturelles de notre territoire. Cette zone subalpine démembrée de la *région ardennaise* en comprendrait les portions les plus élevées, celles qui dépassent 500 mètres, notamment le plateau de la Baraque-Michel, celui de la Baraque de Fraiture, la forêt de Saint-Hubert, etc. : *Viola palustris*, *Meum athamanticum*, *Arnica montana*, *Vaccinium uliginosum*, *Trientalis europæa*, *Narthecium ossifraga*, *Juncus squarrosus* en sont les espèces les plus caractéristiques. Citons également : *Oxycoccos palustris*, *Andromeda polifolia*, *Vaccinium Vitis-Idæa*, *Geum rivale*, *Polygonum bistorta*, *Ranunculus platanifolius*, *Geranium sylvaticum*, *Digitalis ochroleuca*, *Pulmonaria angustifolia*, *Sanguisorba officinalis*, *Wahlenbergia hederacea*, *Malaxis paludosa*, *Polygonatum verticillatum*, *Empetrum nigrum*, *Salix repens*, *Selaginella helvetica*, *Lycopodium complanatum*, etc.

§ 3. — **Faune** (1).

MAMMIFÈRES. La faune mammalogique du plateau de la Baraque-Michel ne présente rien de bien remarquable. Le gros gibier est abondant dans les bois, notamment dans l'*Hertogenwald* (le 25 mars 1903, j'ai rencontré 21 Cerfs et Biches, en deux hardes de 5 et de 16 têtes, et plusieurs Chevreuils). Un dénombrement récent a donné comme évaluation 75 Cerfs, 300 Biches, 400 Chevreuils et 40 Sangliers dans la partie domaniale belge de l'Hertogenwald. Les Cerfs sont arrivés dans l'Hertogenwald en 1864-1865 ; ils s'étaient, paraît-il, échappés du parc du comte Nelessen,

---

(1) Voir surtout Lameere, *Faune de Belgique : I. Animaux non insectes*, 1895 ; II. *Insectes inférieurs*. Bruxelles, 1900, Lamertin.

à Aix-la-Chapelle. Le Loup a disparu vers 1862. On y trouve le Renard (j'ai trouvé un cadavre au bord de la Gileppe en mars 1903), la Fouine, la Belette, le Putois, etc., l'Écureuil, le Muscardin (j'ai trouvé un nid habité, au pont de la Hoegne [510 m.] en novembre 1904) et d'autres petits rongeurs. La Taupe est commune jusqu'au sommet du plateau. Quant au Chat sauvage, à la Martre, à l'Hermine, leur présence est douteuse ou exceptionnelle. Le Blaireau existe, au moins à Francorchamps (j'y ai vu un individu en mai 1904). La Loutre est rare le long de la Vesdre et de la Gileppe. M. Herrfeldt, de Spa, aurait sans succès tenté l'acclimatement du *Lepus variabilis* ou Lièvre blanc du Nord.

OISEAUX. Les Oiseaux les plus intéressants sont la Gélinotte (*Bonasia betulina* Scop.), le petit Coq de bruyère (*Tetrao tetrix* Linn.), mais surtout la Grouse d'Écosse (*Lagopus scoticus* Briss), très abondante sur la fagne. Elle a été introduite avec succès en 1894 par M. Herrfeldt, de Spa (*Le Sport universel illustré*, 15 février 1897). Un premier essai d'acclimatement de la Grouse tenté en 1870, par M. Ed. Nagelmackers-Orban, à la Baraque de Fraiture, n'avait pas réussi complètement. (Edm. de Selys Longchamps, *Sur l'acclimatement de deux espèces de Tétras en Belgique. I. La Grouse ou Tétras d'Écosse*. Bull. de l'Acad. roy. de Belgique, 1893, t. XXVI, p. 72.) On cherche également en ce moment a y réintroduire le grand Coq de bruyère, *Tetrao urogallus* Linn.

REPTILES. — Couleuvre à collier (*Tropidonotus natrix* Gesn.), commune dans l'Hertogenwald. J'en ai observé plusieurs exemplaires, dont un en train d'avaler un Crapaud. Deux exemplaires dans le bois de Moupa (500 m.) en mai 1904, dont un, le 14 mai 1904, en train de digérer une *Rana temporaria* adulte. Une peau entière provenant de mue sur la fagne boisée, au Hockai (550 m.).

Couleuvre lisse (*Coronella austriaca* Gmel.), Hertogenwald selon M. Émile Gens. J'ai pris un exemplaire au Pouhon de Bru, près de Lorcé, rive gauche de l'Amblève.

Vipera berus Linn. (vipère) et *Lacerta stirpium* Daud. (Lézard des souches) manquent, de l'avis de tous les forestiers, tant de l'Hertogenwald que de la partie allemande du plateau, notamment de M. Hoen du Mont-Rigi.

Lacerta vivipara Jacq. (Lézard vivipare), très commun sur la fagne, dès la fin de mars.

Lacerta muralis Laur. manque au plateau proprement dit ; se trouve plus bas, notamment à Nonceveux (Amblève).

Orvet (*Anguis fragilis* Linn.), commun dans les bois.

BATRACIENS. — *Rana fusca* Roesel (*temporaria* Merr.) (Grenouille brune), commune en pleine fagne. OEufs dans une mare près du pont au Hockai (510 m.), le 29 mars 1903. Têtards dans la mare du Mont-Rigi en juin (674 m.).

Rana esculenta et *Hyla arborea* Linn. (Rainette) ne paraissent pas exister, au moins sur la fagne. Un exemplaire de *Rana esculenta* à Fouir près de Jalhay (350 m.), le 15 novembre 1904.

Bufo vulgaris Linn. (Crapaud), Hertogenwald.

Alytes obstetricans Laur. (Crapaud accoucheur). Têtards dans la mare de Cokenfange (500 m.). Adultes avec œufs à Stoumont (340 m.).

J'ai entendu le chant de l'Alyte à Ster (480 m.) le 5 mai 1904 ; à Xhoffray (510 m.), le 22 mai 1904.

Bombinator igneus Roesel (Sonneur en feu), commun dans l'Hertogenwald, sur l'Amblève, etc.

Triton punctatus Daud. et *Triton alpestris* Laur., abondants au printemps dans la mare du Mont-Rigi (674 m.), un *Triton alpestris* dans la forêt de Roer le 2 mai 1904.

Triton palmatus Schneid., un exemplaire au Hockai.

Salamandra maculosa Laur., inconnue sur la fagne, existe sans doute dans l'Hertogenwald.

Triton cristatus Laur. s'y trouve peut-être aussi et peut-être *Bufo calamita*.

F. Leydig (*Verhandl. d. natur. Ver. der preuss. Rheinl.* Bonn, 1881, t. XXXVIII, pp. 42-182) signale *Bufo calamita* dans l'Eifel; *Vipera berus* n'y existerait pas. Page 88, il dit que le Musée zoologique de Bonn renferme un exemplaire de *Salamandra atra*, espèce des Alpes, avec l'étiquette : Eifel. Il croit à une erreur d'étiquette.

POISSONS. — La Helle, la Sore et leurs affluents ont des eaux acides et tarissent d'ailleurs presque complètement en été : elles ne paraissent pas contenir de Poissons.

La Gileppe, la Hoegne, etc., contiennent surtout la Truite (*Salmo fario* Linn.) dans leur partie élevée. Plus bas, on peut trouver le Véron (*Phoxinus laevis* Ag.), le Chabot (*Cottus gobio* Linn.), etc.

Dans le lac de la Gileppe, E. Gens me signale comme espèces autochtones la Truite (*Salmo fario* Linn.), le Chevaine (*Leuciscus cephalus* Linn.) et le Véron (*Phoxinus laevis* Ag.), et comme espèces introduites : la Carpe (*Cyprinus carpio* Linn.), la Tanche (*Tinca vulgaris* Cuv.), la Perche (*Perca fluviatilis* Linn.).

L'Anguille (*Anguilla vulgaris* Cuv.) et le Gardon (*Leuciscus rutilus* Linn.) ont été introduits plusieurs fois, mais ont disparu. On a essayé sans plus de succès depuis vingt ans d'y déverser toutes les espèces de poissons que les pisciculteurs élèvent et vendent : la Truite arc-en-ciel, le Saumon de Californie, l'Ombre chevalier, le Saumon ordinaire, la Perche noire d'Amérique, la Perche soleil, le Catfisch, etc. (voir la carte consacrée à la pisciculture publiée en 1889 par l'Institut cartographique militaire).

MOLLUSQUES. — Colbeau (*Bull. Soc. malac. Belg.*, I, p. xxxvi) ne signale aucun Mollusque dans les eaux des Hautes-Fagnes. Weyers (*Ann. Soc. malac. Belg.*, 1871, VI,

p. LI), au cours de l'excursion annuelle de la Société entomologique à la Baraque-Michel, n'a trouvé qu'une seule espèce de Mollusque : *Arion subfuscus* Drap.

J'ai trouvé *Arion rufus* Linn. dans les bois humides (500 à 600 m.), un exemplaire de *Vitrina* sp. sous une pierre au Hockai (540 m.), *Limnaea truncatula* O.-F. Müll. dans un petit fossé d'écoulement au-dessus de Solwaster (450 m.), *Limnaea peregra* O.-F. Müll. à Malchamps (570 m.) et Cokenfange (500 m.), *Sphaerium caliculatum* Drap. à Cokenfange et à Malchamps.

Les deux *Limnées* dont il vient d'être question sont précisément celles qui montent le plus haut dans les Alpes.

Limnaea truncatula a été trouvée jusqu'à l'altitude de 2,610 mètres et *Limnaea peregra* jusqu'à 2,800 mètres (ZSCHOKKE, *loc. cit.*, p. 40).

La rareté des Mollusques a frappé tous ceux qui se sont occupés de la faune des lacs de montagne. Selon ZSCHOKKE, plusieurs grands lacs alpestres n'en contiennent qu'une ou deux espèces, par exemple le *Seealpsee* (1,142 m.), avec *Limnaea truncatula* seulement (d'après v. MARTENS), le Schachensee, avec *Pisidium fossarium* et *Limnaea truncatula* (d'après CLESSIN). D'autres, notamment le lac Champex (1,466 m.), en sont totalement dépourvus (BLANCHARD et RICHARD).

VERS, ANNÉLIDES, etc. — Parmi les Annélides, citons les Vers de terre et *Tubifex rivulorum* Luck. (mare à Cokenfange, 500 m.).

Parmi les Vers : *Polycelis cornuta* Johns. sous les pierres dans un grand nombre de ruisseaux au-dessus de 300 mètres, parfois plus bas (voir la carte, p. 1281). *Planaria gonocephala* Dugès sous les pierres dans presque tous les ruisseaux au-dessous de 300 mètres.

Arachnides.

Léon Becker, dans ses *Arachnides de Belgique* (Ann. Mus. hist. nat. Belgique, X, XII, 1882, 1896), cite les espèces suivantes comme ayant été capturées, entre autres lieux, à la Baraque-Michel : *Heliophanus cupreus* Walck., *Ocyale mirabilis* Clerck, *Lycosa inquilina* Clerck, *L. accentuata* Latr., *L. nemoralis* Westr., *L. rubicola* de Geer, *Pirata Knorri* Scopoli, *Pardosa monticola* Clerck, *P. palustris* Linn., *P. nigriceps* Thorell, *P. pullata* Clerck, *P. amentata* Clerck, *Micrommata virescens* Clerck, *Xysticus cristatus* Clerck, *Philodromus aureolus* Clerck, *Thanatus arenarius* Thorell, *Singa pygmaea* Sundevall, *S. rufula* E. Simon, *Episinus truncatus* Latr., *Theridion simile* C. Koch, *Linyphia triangularis* Clerck, *L. pusilla* Sundevall, *Bathyphantes variegatus* Blackwall, *B. tisovagans* Blackwall, *Erigone dentipalpis* Wider, *Walkenaera nudipalpis* Westring, *Tegeneria pusilla* E. Simon, *Clubionia coerulescens* L. Koch, *C. reclusa* Cambridge, *C. compta* C. Koch, *Chiracanthium erroneum* Cambridge, *Zora spinimana* Sundevall.

Parmi ces espèces, *Lycosa inquilina* Clerck, *Thanatus arenarius* Thorell, *Singa rufula* E. Simon, *Episinus truncatus* Latr. et *Bathyphantes variegatus* Blackwall n'ont guère été rencontrées chez nous qu'au plateau de la Baraque-Michel et paraissent être des espèces subalpines.

Myriopodes et Crustacés.

Parmi les Myriopodes et Crustacés récoltés au plateau de la Baraque-Michel, je puis citer les espèces suivantes que M. Plateau a bien voulu déterminer pour moi :

Iulus albipes C. Koch, *Iulus mediterraneus* Latzel, *Glomeris hexasticha* Brandt, *Lithobius crassipes* L. Koch.

Porcellio scaber. En outre, petits Crustacés non déterminés de la mare du Mont-Rigi.

Insectes (1).

LÉPIDOPTÈRES.

Ed. de Selys Longchamps a donné dans les *Annales de la Société entomologique* (t. XIV, pp. LVI et LX, t. XV, p. XCIII et CXI; t. XVI, p. LXXVI; t. XX, p. XXXVIII) plusieurs listes de Lépidoptères diurnes rencontrés à la Baraque-Michel. Elles comprennent cinquante-quatre espèces (2) :

Papilio machaon L., *P. podalirius* L., *Aporia crataegi* L., *Pieris brassicae* L., *P. rapae* L., *P. napi* L., *Gonepteryx rhamni* L., *Colias palaeno* L., *C. hyale* L., *Thecla rubi* L., *Th. quercus* L., *Th. ilicis* Esp. (*Lynceus* Fab.), *Chrysophanus* (*Polyommatus*) *amphidamas* (*helle* F.), *C. hippothoe* (*chryseis* L.) S. V., *P. phlaeas* L., *Lycaena aegon* H., *L. corydon* F., *L. hylas* Esp. (*dorylas* Hb), *L. acis* Fab. (*Semiargus* Rott.), *L. argiolus* L. (*Agestis*), *Limenitis populi* L., *Limenitis sibilla* L., *Apatura iris* L., *Pyrameis cardui* L., *Pyrameis atalanta* L., *Vanessa urticae* L., *V. Io* L., *V. antiopa* L., *Melitaea aurinia* Rott., *M. cinxia*, *M. athalia* Esp., *M. dictynna* Esp., *Argynnis aphirape* Hb., *A. selene* S. V., *euphrosyne* L., *A. pales* S. V. (*var. arsilache* Esp.), *A. aglaja* L., *A. paphia* L., *A. adippe* L., *A. ino* Esp., *Erebia medusa* S. V., *E. ligea* L., *Melanargia galathea* L., *Pararge maera* L., *Aphantopus hyperanthus*, *Coenonympha tiphon* Rott., *C. pamphilus* L., *Epinephele jurtina* L., *Epinephele tithonus* L., *Satyrus semele* L., *Nemeobius lucina* L., *Pamphila palaemon* Pall. F., *Hesperia malvae* L., *Augiades sylvanus* Esp., *Adopea thaumas* Hüfn. Je puis y ajouter *Euchloë car-*

---

(1) Voir surtout *Annales et Bulletins Soc. entomol. belge* (S. E. B.). C'est à cette publication que se rapportent les citations abrégées.

(2) Voir aussi Quaedvlieg et Donckier, *Excursion lépidoptérologique aux Hautes-Fanges* (S. E. B., t. XV, p. CX).

damines L., pris le 17 mai 1904 à Renarstein (480 m.); le 18 mai 1904 à Hastert (530 m.) et le 14 mai 1904 près de Francorchamps (500 m.), *Melitaea maturna* (Hertogenwald, un ♂ le 19 juin 1889), *Polygonia C. album* L. (Hockai), *Vanessa polychloros* (maison Drossart). Ajoutons-y *Apatura ilia* Schiff, cité dans l'Hertogenwald, près d'Eupen, par Stollwerck (*Die Lepidopteren-Fauna der Preussischen Rheinlande,* pp. 46 et 60).

A différentes reprises, on a affirmé la capture de *Parnassius Apollo* L. en Belgique, mais sans preuves suffisantes. Le fait ne paraît pas très probable, vu la rareté sur les Hautes-Fagnes des espèces de *Sedum* sur lesquelles vit la chenille de ce beau papillon. Il ne serait pas impossible cependant, car *P. Apollo* a été pris dans plusieurs localités de l'Eifel à peu de distance de nos frontières, notamment au *Hohe Acht* d'après F. Leydig (*Ueber die Verbreitung der Thiere im Rhöngebirge und Mainthal mit Hinblick auf Eifel und Rheinthal.* [Verh. d. naturhist. ver. d. Rhein. preuss., Bonn, 1881, t. XXXVIII, pp. 42-182]) et d'après le Dr Hahn *d'Alsdorf*, et sur la Moselle entre *Trèves et Coblence*, notamment à *Bertrix*, d'après le catalogue de F. Stollwerck.

—

Parmi ces espèces, les suivantes peuvent être considérées comme arctiques-alpines ou subalpines (1) :

Colias Palæno L. (var. *Europomene* Stgr.) (alpine et circumpolaire).

---

(1) Distribution géographique principalement d'après :

Speyer, *Geogr. Verbreitung der Schmetterlinge Deutschlands und der Schweiz,* 1858 ; Rühl et Al. Heyne, *Die palaearkt. Grossschmetterlinge.* Leipzig, 1895; Arnold Pagenstecher, *Die arktische Lepidopterenfauna.* Jena, 1901-1902; et d'après des communications inédites, obligeamment fournies par les lépidoptérologistes mentionnés, page 1289.

Habitat alpestre en Europe.

Pyrénées. Haute-Garonne : *Saint-Béat*, *Mont-Cagire*, *Bagnères-de-Luchon*, etc., *Port de Vénasque*. (Caradja, *Iris*, 1893, p. 171. — Boisduval, *Lépidopt. Suites à Buffon.*)

Plateau central de France. *Morvan* (Godard, *Lépidopt. France*, II, p. 36). *Mont-Dore* (Communication de P. Girod de Clermont-Ferrand.) — Guillemot, *Catal. Lépidopt. du département du Puy-de-Dôme*. Clermont-Ferrand, 1854. — Bellier de la Chavignerie, *Lépidoptères de l'Aveyron et de la Lozère. Soc. entomol. France*, et M. Sand, *Lépidoptères du Berry et d'Auvergne*, 1879, ne le mentionnent pas.

Jura : *Lac d'Etalières*, *Doubs*, au-dessus de *Pontarlier*.

Vosges : *Lispach*. (de Peyrimhoff, *Catal. des Lépidopt. d'Alsace*, 1880.)

Alpes de Ligurie, de Piémont, de France (Savoie, Basses-Alpes, Berce, *Faune française*, I, p. 117), de Suisse, de Bavière, de Tyrol, de Carniole, de Styrie, d'Autriche jusque *Wiener Neustadt* et *Neunkirchen*. (Voir : Speyer, Rühl et Heyne, Rothe, *Vollst. Verz. d. Schmetterl. Oester. Ungarn, Deutschl. u. Schweiz.*, 2. Aufl. Wien, 1902)

Constance. (R. Roscher, *Kranchers Entom. Jahrb.*, VI, für 1897, 201-206.)

Isny, *Mindenthal*.

Schwarzwald : *Feldsee*, *Titisee*, *Schluchsee*, *Kaltebrunn*, *Hinterzarten*, *Kniebis*, *Murmelsee*. (R. Roscher, in *Kranchers Entom. Jahrb.*, VI, für 1897. — Carl Reutti, *Uebersicht der Lepidopterenfauna des Grossherzogthums Baden*, IIe Ausgabe, her. v. Mees u. Spuler, Bd XII *der Verhandl. d. naturw. Vereins zu Karlsruhe*. Berlin, 1898, pp. 10, 18.)

Palatinat bavarois, près de *Kaiserslautern* (communiqué par A. Pagenstecher, de Wiesbaden). (F. Bertram, *16-17er Jahresber. d. Pollichia. Neustadt a. H.*, *Die Lepidopteren Fauna der Pfalz*, 1859, pp. 299-322. Aussi M. Linz, *5er. Jahresb. d. Pollichia*, 13 septembre 1847.)

Plateau de la Baraque-Michel (Belgique, Prusse). (Meigen, *Europ. Schmetterl. Aachen*, 1829, I, p. 32. — *Ann. Soc. entom. belge*, 1870, t. XIV, pp. II et XII.)

Forêt de *Saint-Hubert* (Belgique). (Severin, *Ann. Soc. entom. belge*, t. XLIII, p. 312).

Thüringerwald : *Oberhof* (rare). (F. Knapp, *Verzeichn. der Schmetterl. Thüringens*. [Stett. Entom. Zeit., 1887, vol XLVIII, p. 363.] — Fritz Rühl et Al. Heyne, *Die palaearct. Grossschmetterl.* Leipzig, 1895.)

Fichtelgebirge. (Fritz Rühl, *Die palaearct. Grossschmetterl.*, 1895.)

Erzgebirge (toutes les hautes tourbières, d'après A. Bachstein, *Entom. Nach.*, III, 1877, 138-139) : *Asch*, *Lindenhau*, *Oldt* et *Scheft*, près de *Neudeck*, *Eger*, *Chodaw*, *Karlsbad*, *Nandeg*, *Kupferberg*, *Schmiedeberg*, *Eichwald*, *Teplitz*, etc. (Rühl et Heyne.)

Bayrische Oberpfalz : *Bodenwöhr*, *Bürglenfeld*. (Rühl et Heyne.)

Riesengebirge (Eulengebirge) : *Wüsterwaltersdorf*, *Seefelder*, près *Reinerz*. (Naacke, in *53. Jahresb. d. Schles. Ges. f. vaterl. Cultur*, 1875, pp. 154-156.)

Carpathes de Bukovine : *Rusca*, près *Dorna*, et source du *Tscheremusch*. (Const. v. Hormuzaki, *Schmetterl. d. Bukovina. Verh. d. zool. bot. Ges. Wien*, 1897, vol. XLVII, p. 125.)

Carpathes de Roumanie : *Ortoia*, district de *Suceava*. (Const. v. Hormuzaki, *Verh. d. zool. bot. Ges. Wien*, 1902, p. 564.).

Au sud-ouest du Tatra, près de *Lucsivna* (comitat *Bars* en Hongrie). (*A Magyar Birodalom Állatoilága*, par Aigner, Pavel et Uhryk. Budapest, 1896.)

Colias Palæno manque dans le Tatra, les Carpathes de Galicie, de Hongrie et de Transylvanie (d'après une communication de v. Hormuzaki), dans le Harz (Aug. Hoffmann, *Die Lepidopterenfauna der Moorgebiete des Oberharzes.*

[Stettiner Ent. Zeit., 1888, vol. XLIX, pp. 133-199]), dans l'Eifel, le Taunus, le Hundsrück (d'après une communication de A. Pagenstecher), et manque dans tout le midi de l'Europe, dans les Iles Britanniques et l'Islande.

Habitat boréal.

Lacordaire avait cité, d'après Boisduval, *Colias Palæno d'Islande*. Staudinger (*Stettin E. Zeit.*, 1857, pp. 228-229) a formellement contredit le fait. (Voir aussi : Keferstein, *Ibid.*, 1869, p. 191.)

Fig. 4. — Distribution géographique de *Colias Palæno* en Europe.

L'habitat boréal de *Colias Palæno* paraît s'étendre, en Europe, sur toute la Scandinavie, y compris les îles de la Baltique, le Danemark, la Finlande, la plus grande partie

de la Russie, les provinces orientales de la monarchie prussienne et la lisière supérieure de la Galicie autrichienne.

On cite pour la Galicie une seule localité : *Lancut*. (Prof. v. Nowicki, in *Verh. d. k. k. zool. bot. Gesellsch. Wien*, 1865.) — En Silésie, entre *Kosel* et *Gleiwitz*, *Oppeln*, *Kreuzburg*, *Kohlfurt*. (Communication de O. Hensel, à Gottesberg, et de M. Bartel, à Berlin.) — Les environs de *Sprottau*. (Pfitzner dans *Iris*. Dresde, 1901, XIV, p. 92, et *Deutsche entom. Zeits. Lep.*, 1901, XIV, pp. 88-112.) — Dans l'Oberlausitz prussienne : *Niesky*, *Horka*, etc. (Schütse dans *Iris*, 1895, p. 273.)

Ces différentes localités de Silésie paraissent séparées des stations alpestres les plus voisines (*Reinerz*, *Wüsterwaltersdorf* dans le Riesengebirge, *Teplitz*, etc., dans les monts Métalliques) par une zone où manque *Colias Palæno*. L'espèce ne figure pas dans les autres parties de la Silésie, par exemple aux environs de *Breslau* (Neustaedt, *Schmetterlinge Schlesiens*, 1842, XLV, p. 75), ni aux environs de *Leipzig*, ni de *Dresde* (Steinert, *Die Makrol. d. Dresdener Gegend* [*Deutsch. E. Zeit.*, 1891, pp. 162-197, et 1892, pp. 395-423]), ni dans l'Oberlausitz saxonne.

En Poméranie, *Rügenwalde*, *Stettin*, *Stepenitz* (Rühl). M. Tancré m'écrit l'avoir pris à *Anklam*, mais ne l'avoir pas trouvé à l'île de Rügen. *Colias Palæno* paraît manquer dans le Mecklembourg, à *Berlin* (M. Bartel u. A. Herz. *Grossschmetterl. d. Berl. Geb.*, 1902, p. 2), *Hambourg*, *Magdebourg*, etc., et dans tout le nord-ouest de l'Allemagne (sauf le plateau de la Baraque-Michel).

Dans la province de *Posen*, le district de *Prosna* (Rühl et Heyne) et *Moschin*. (*Die Lepidopteren der Provinz Posen, in Entomol. Club Posen*, 1893.)

Dans les provinces de Prusse orientale et occidentale, P. Speiser, de *Bischofsburg* (*Die Schmetterlingsfauna der Provinzen Ost- und Westpreussen, in Beitr. z. Naturk. Preussens. Phys. oek. Ges. Königsberg*, 1903), cite une trentaine

de localités, notamment : *Königsberg*, *Löwenhagen*, *Frisching*, *Intersburg*, *Rastenburg*, *Ludwigsort*, *Heiligenbeil*, *Saalfeld*, *Osterode*, *Gillenburg*, *Lyck*, *Ortelsburg*, *Willenberg*, *Danzig*, *Löblau*, *Pr. Staargard*, *Jastrow*, *Graudenz*.

O. Staudinger m'assure que *Colias Palæno* manque en Danemark. Cependant, Enzio Reuter, d'*Helsingfors*, E. Bergroth, de *Tammerfors* (Finlande), et Aurivillius, de *Stockholm*, me l'indiquent du Danemark. Le Dr Chr. Schröder, de *Itzehoe-Sude*, m'affirme l'avoir pris en 1887 à *Rendsburg* (Holstein) et avoir connaissance de captures faites à *Husum* (Schleswig). *Colias Palæno* paraît donc peu répandu dans la presqu'île danoise. Il en serait de même pour le sud de la Suède. Il serait plus abondant dans le centre et dans le nord de la Suède. Il est répandu en Norwège depuis *Christiania* jusque près du cap Nord (*Sydvaranger*, *Saltdalen*, *Bossekop*, etc.). (Sven Lampa, *Macrolepidopt. Skandin. Finnl.* & *Danem. Entom. Tidskrift*, 1885, p. 1, et Ström, *Danmarks S. Sommrfugle*, Copenhague, 1891.)

Colias Palæno existe dans une grande partie de la Russie d'Europe (communication de Mislawski, à *Kazan*, et de L. Kroulikowsky, d'*Ourjoume* [*Wiatka*]). M. Kroulikowsky a bien voulu me fournir une carte de Russie sur laquelle il a marqué les régions de capture de *Colias Palæno* avec les noms des entomologistes. Le Papillon a été trouvé à :

Jekaterinbourg (gouvernement de Perm) : Egon-Besser.

Haute Dvina (gouvernement de Vologda) : Kroulikowsky.

Viatka et *Malmys* [très rare] (gouvernement de Viatka) : Kroulikowsky.

Gouvernement de *Nijnii Novgorod* : Kroulikowsky.

Plateau du Valdai : Kroulikowsky.

Arkhangel : Ed. Ménétriés.

Gouvernement de *Pskow* : N. Kusnezow.

Gouvernement de *Tver* : W. Bianecki.

Gouvernement de *Moscou* : L. Albrecht, Ed. Assmuss.

Gouvernement de *Vladimir* : N. Kasansky.

Gouvernement de *Kharkow :* Czerkay et W. Jaroschewsky. Peut-être y a-t-il eu confusion avec *Colias Erate.*

Erschoff et Field, dans leur *Catalogue des Lépidoptères de la Russie,* indiquent le midi de la Russie, mais sans citer de localité précise. Ici aussi il y a peut-être erreur.

Gouvernement de *Kazan* (très rare) : Eversmann, Kroulikowsky.

Toute la Pologne russe : Czekanowsky.

Lithuanie *(Kalwarija) :* O. Elleder, Garbowsky, etc.

Esthonie, Livonie, Courlande, gouvernement de *Kovno :* Nolcken, Teich, Petersen (*Lepidopterenfauna von Estland* [*Beitr. z. K. Est. Liv. u. Kurlands,* 1902]), Slevogt (*Die Grossschmetterlinge Kurlands mit Berücksichtigung Kownos, Livlands und Estlands* [*Sitzber. d. Kurländ. Ges. f. Lit.,* etc. Mitau, 1903, pp. 35-133]).

Petrozavodsk et *Kargopol (Olonets) :* Günther.

Gouvernement de *Saint-Pétersbourg :* Erschoff, Kawrigin, Lang, Hueber.

Gouvernement de *Mohilev :* Ballion et Arnold.

Toute la Finlande : Petersen, Reuter, Poppius, etc. (Tengström, *Catal. Lep. faunae fennic.* Helsingfors, 1869.)

Fig. 5. — Habitat circumpolaire de *Colias Palæno.*

En dehors de l'Europe, *Colias Palæno* est répandu en Sibérie (Ienisei du 59°10 au 69°25, *Baganida, Sajan, Kamschatka, Amour, Kuusano, Monts Altai*, etc.), le nord du Japon (*Stett. ent. Zeit.*, 1893, LIV, p. 22) et dans l'Amérique boréale (*Colombie britannique*, *Labrador, baie d'Hudson, fleuve Mackenzie, Rupert's Land, Alaska*). (Voir PAGENSTECHER, *Die arkt. Lepidopterenfauna.* Jena, Fischer, 1901.)

DELESSERT l'a signalé également dans l'*Himalaya.*

Colias Palæno en Belgique. — Consulter MEIGEN, *Europ. Schmetterlinge*, 1829, p. 32, puis *Ann. et Bull. Soc. entomol. belge*, 1870-1871, t. XIV, pp. II, XII, LIV et LV; 1872, t. XV, pp. VII et XLII; t. XXVI; 1887, t. XXXI, pp. XVI et LXXV; 1889, t. XXXIII, p. XIV; t. XLIII, p. 312.

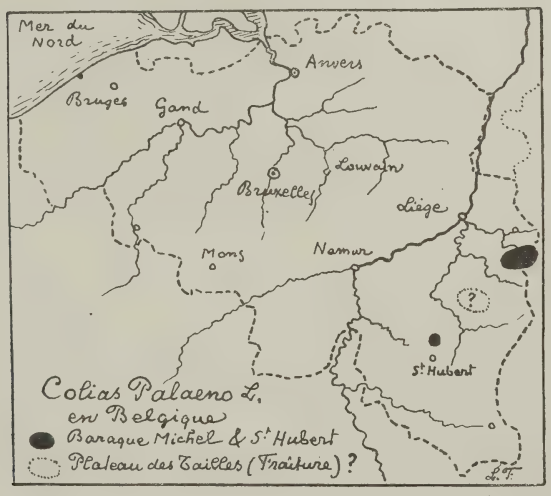


FIG. 6. — *Colias Palæno* en Belgique.

Colias Palæno descend jusqu'à la Gileppe et à la Sauve-

nière près de *Spa*. Severin l'a retrouvé dans la forêt de *Saint-Hubert*, près de *Nassogne*. J'en possède un exemplaire pris en sa société le 28 juin 1904 à la *grande Fange*, entre *Mochamps* et le *Fourneau Saint-Michel*. Je l'ai vainement recherché au plateau de la *Baraque de Fraiture* en 1903 et 1904. C'est à tort que Dubois (*Lépidoptères de la Belgique*, 1874, I), Louis Quaedvlieg (*Les papillons diurnes de Belgique*. Bruxelles, Mayolez, 1873, p. 35) et Lambillon (*Catal. des Lépidoptères de Belgique*, 1903. Suppl. à la *Revue mens. de la Soc. entom. Namur*) citent juillet et août comme époque de son apparition. Je l'ai pris les 7, 8, 9, 10, 11, 14, 15, 17, 18, 19, 20, 25, 30 juin, 1, 2, 3, 5 juillet. Les rares exemplaires pris les 9 et 19 juillet étaient usés. *Colias Palæno* est non pas *RR* comme l'indique Lambillon, mais très abondant au plateau de la Baraque-Michel. J'en ai vu voler plus de cent le 3 juillet 1903, entre Hockai et la Baraque-Michel. La femelle est moins abondante que le mâle. La chenille vit sur *Vaccinium uliginosum* et non *sur diverses Papilionacées*, comme le dit Quaedvlieg.

Vaccinium uliginosum se rencontre évidemment partout où vit *Colias Palæno*. Mais la réciproque n'est pas vraie. La plante a une aire de distribution plus étendue que l'insecte qu'elle nourrit. *Colias Palæno* manque dans le Harz suivant Hofmann (*loc. cit.*), tandis que *Vaccinium uliginosum* y est très abondant. Il en est de même pour l'Eifel et une grande partie du Nord-Ouest de l'Allemagne. (Voir la note p. 1270, pour les conditions de température de l'habitat européen de *C. Palæno*.)

Argynnis Aphirape Hb., circumpolaire et alpine (manque dans les Alpes de Suisse). Espèce peu répandue. En Belgique, a été trouvée abondamment au plateau de la Baraque-Michel (B. S. E. B., t. XIV, pp. II, XII et LIV, 1871),

forêt de Saint-Hubert, Hertogenwald (Hippert, t. XXXV, p. cccxlvii, 1887; t. XXXI, p. xvi) Chiny (t. XII, p. liv). Dates de mes captures : 21, 22 mai, 4, 5, 9, 10, 11, 14, 15, 18, 23 juin; exemplaires usés les 25 juin et 2 juillet.

Argynnis Arsilache Esp. (*Pales* Schiff) habite une grande partie de l'Europe et de l'Asie, papillon de plaine dans le Nord, papillon subalpin dans le centre et le Midi. Au-dessus d'une certaine altitude apparaît la forme *A. Pales*. N'était signalé en Belgique qu'au plateau de la Baraque-Michel (B. S. E. B., 1870, t. XIV, pp. ii, xii et xlix, 1889; t. XXXIII, p. xiv; 1887, t. XXXI, p. xvi). Je l'ai retrouvé dans la forêt de Saint-Hubert et au plateau de la Baraque de Fraiture. J'en possède également un exemplaire capturé par mon collègue le professeur Ch. Fibket, près de Stavelot.

Dates de mes captures : 20, 23, 25, 28, 30 juin, 2, 3, 5, 7, 13 juillet.

Argynnis Ino Esp. Toute la partie orientale de la Belgique, Hertogenwald, plateau de la Baraque-Michel (t. XIV, p. lx), forêt de Saint-Hubert, Bovigny (A. S. E. B., t. VII, p. 75), entre Rance et Chimay (t. XXXII, p. xiii), Charneux (t. XV, p. xciv). Dates de mes captures : 18, 19, 20, 23, 27, 28, 30 juin, 4, 7, 13 juillet, exemplaires usés les 20 juillet et 11 août.

Chrysophanus Amphidamas (*P. Helle* Fab.) Espèce de plaine dans le nord de l'Europe, espèce alpine ou subalpine dans le centre et le midi.

En Belgique, a été pris au plateau de la Baraque-Michel (t. XIV, p. lv), Hockai (t. XXXIX, p. 332), aux environs d'Arlon, dans la forêt de Saint-Hubert (Severin, XLIII, p. cccxii). Je l'ai pris au plateau de la Baraque-Michel les 9 et 24 juin et dans la forêt de Saint-Hubert le 28 juin. Tous ces exemplaires étaient passés.

Chrysophanus Hippothoe L. (*P. Chryseis*). Espèce de plaine

dans le Nord (Scandinavie, Russie, Grande-Bretagne), de montagne dans le centre et le Midi (Auvergne, Jura, Alpes, Altai, Pyrénées, etc.).

En Belgique, se trouve dans toute la partie orientale : Hertogenwald et plateau de la Baraque-Michel (t. XIV, p. LV), Baraque de Fraiture, Saint-Hubert, Poix, Bouillon, Moresnet, Berneau (t. XXVIII, p. CLXXX), Charneux (t. XV, p. XCIV), Viel-Salm (t. VII, p. 75; t. XI, p. LI), entre Viel-Salm et Houffalize, Bovigny, Cherain, Marche, Chaussée, Laroche, entre Herbeumont et Chiny (t. VII, p. 75), Neufchâteau (t. XXXII, p. LV). Dates de mes captures : 15, 17, 19, 25, 27, 28 juin, 2, 3 juillet.

Erebia Ligea L. Habite une grande partie de l'Europe et de l'Asie (sud et centre jusqu'à la latitude du Harz) comme papillon de montagne. Papillon de plaine en Scandinavie, Russie et Sibérie.

En Belgique, a été découverte par QUAEDVLIEG, le 13 août 1871, à la maison Hestreux (t. XIV, p. LV; t. XV, pp. VII et VIII et CXII).

Mes exemplaires proviennent des environs de la maison Drossart (5 juillet 1889) (Hertogenwald, HIPPERT, B. S. E. B., 1889, t. XXXIII, p. XIV).

Dans certaines localités d'Allemagne, *Erebia ligea* ne se montre que tous les deux ans, les années à millésime impair.

Erebia Medusa Fab. (Espèce de montagne dans l'Europe centrale et méridionale.) Manque en Allemagne au nord du 52°20′, ainsi que dans la plus grande partie de la Scandinavie et de la Russie septentrionale. Se retrouve comme espèce arctique au nord de la Laponie.

Belgique : Découverte par PUTZEYS en 1838, à Arlon, retrouvée par ED. DE SELYS LONGCHAMPS à Neufchâteau, Chiny (B. S. E. B., 1868-1869, t. XII, p. LIV), Sainte-Marie;

par Hippert à Han-sur-Lesse, puis à Rance, Vireilles, Marlagne près de Namur (Lambillon), très commune dans un grand nombre de localités élevées de l'est des provinces de Liége et de Luxembourg : plateau de la Baraque-Michel (t. XIV, p. lv; t. XXXI, p. xvi), Gileppe, Viel-Salm (t. XI, p. lx), plateau de la Baraque de Fraiture, forêt de Saint-Hubert. M. Seeldrayers l'a capturée à Rhode-Saint-Genèse, le 16 juin 1900 (A. S. E. B., vol. XLIV, p. 261, 1900).

Mes captures sont datées des 3, 9, 10, 11, 14, 18, 23, 25 juin (usés) et 2 juillet (usés).

Coenonympha Tiphon Rott. (arctique-alpine) (t. XIV, p. l; t. XVII, p. cv).

En Belgique : plateau de la Baraque-Michel (t. XX, p. xxxvii; t. XXXI, p. xvi), Neufchâteau (t. XVII, p. cv; t. XXXII, p. xv, et t. XXXVI, p. 392).

La variété *Philoxemus* Esp. (*Rothliebi* Stgd.) en Campine, Viel-Salm (t. XI, p. lx), Bastogne, Saint-Hubert, Arlon, Chiny (t. XII, p. liv, et t. XVII, p. cv).

Citons parmi les autres espèces intéressantes capturées au plateau de la Baraque-Michel : une forme particulière de *Procris* (t. XIV, p. xlvii et lx), *Lasiocampa quercus* var. *catalaunica* (t. XXXV, p. cccxlvii), *Drepana curvatula* (t. XXXV, p. cccxlvii), *Hydrocampa litteralis* (subalpine) (t. XIV, p. lv), *Epienaptera ilicifolia* L., *Leucodonta bicoloria* Schiff., *Cymatophora fluctuosa* Hb. (t. XXXVI, p. 449), *Pachycnemia hippocastanaria* Hb. (t. XXXVI, p. 256), *Acronycta menyanthidis* Vieweg (subalpine) (t. XXXIV, p. cxiii; t. XXXVI, p. 256), *Mamestra glauca* Hb. (t. XLII, p. 503), *Hyppa rectilinea* Esp. (t. XXVII, p. cxxix), *Erastia venustula* Hb. (t. XXI, p. xxxiv), *Anaïtis praeformata* Hb. à Francorchamps (subalpine), *Geometra vernaria* Hb. (t. XXXIII), *Metrocampa honoraria* S. V. (t. XLII, p. 503), *Semiothisa signaria* Hb. (t. XLII, p. 503), *Boarmia repandata* L. ab.

conversaria Hüb. (t. XLI, p. 426), *Lobophora sexalisata* Hb. (t. XLII, p. 503), *Acidalia albularia* (t. XXXVI, p. 256), *Pyrausta nyctemeralis* Hb. (t. XXXIV, p. CXIII), *Crambus ericellus* (t. XXII, p. XC).

Ajoutons-y les espèces suivantes citées par CH. DONCKIER DE DONCEEL, dans son *Catalogue des Lépidoptères de Belgique* (1er juillet 1882. ANN. SOC. ENT. BELG., t. XXVI, pp. 5-161) :

Gnophria (*Lithosia*) *rubricollis* L., Hertogenwald ; *Bombyx* (*Gastropacha*) *lanestris* L., Membach; *Lasiocampa* (*Gastropacha*) *ilicifolia* L., Hockai, Hertogenwald; *Microdonta bicolaria* Schiff, Hertogenwald; *Pygaera* (*Clostera*) *pigra* Hufn., (*reclusa* F.), Hertogenwald; *Charaeas graminis* L., Hertogenwald; *Mamestra tincta* Tr., Hertogenwald; *Dianthoecia carpophaga* Bklr., Hockai; *Tapinostola fulva* Hb., Hautes-Fanges; *Anarta myrtilli* L., Hertogenwald; *Erastria unca*, Hockai, Campine; *Prothymia aenea* Sv., Hockai; *Boarmia crepuscularia* S. V., Hertogenwald; *Ortholita palumbaria* S. V., Spa, Hockai; *Odezia chaerophyllata* L., Hertogenwald; *Chesias obliquata* S. V., Hockai; *Cidaria juniperata* L., Hestreux; *Cidaria miaria* S. V., Hestreux; *Cidaria elutata* Hb., Hertogenwald; *Diasemia litterata* Sc., Hertogenwald; *Crambus margaritellus* Hb., Hautes-Fanges; *Penthina Zinckenana* Froel., Hertogenwald; *Adena violella* Tr., Gileppe; *Glyphipteryx thrasonella* Sc., Hertogenwald; *Platyptilia nemoralis* var. *saracenica* Wk., Hertogenwald.

Si nous comparons la faune lépidoptérologique du plateau de la Baraque-Michel avec celle du Harz (AUG. HOFMANN, *Die Lepidopteren-Fauna der Moorgebiete des Oberharzes* [STETTINER ENTOM. ZEITUNG, 1888, vol. XLIX, pp. 133-199]), nous constatons les plus grandes analogies. La liste d'HOFMANN comprend 35 diurnes, parmi lesquels *Polyommatus Virgaureae* L., *P. Hippothoe* L., *Argynnis Pales* var. *Arsilache*, *Argynnis Niobe*, aber. Fris, *Erebia Epiphron*

Kn., *E. Medusa* S. V. et *E. Ligea* L., *Coenonympha Tiphon.*

L'absence de *Colias Palæno* est surprenante vu l'altitude (Tourbière à 800 m.) et l'abondance du *Vaccinium uliginosum*. *Polyommatus Virgaureae* et *Argynnis Niobe* existent en Belgique, mais n'ont pas été signalés au plateau de la Baraque-Michel. Il n'est pas impossible qu'on les y rencontre, ainsi que *Erebia Epiphron* du Harz et *Lycaena Euphemus.*

Parmi les autres Lépidoptères caractéristiques du Harz, citons : *Acronycta menyanthidis*, *Agrotis speciosa* Hb., ib. aber. *obscura* Frey, *Agrotis occulta* L., *Mamestra glauca* Hb., *Hadena rubrirena* Tr. var. *hercynae* Stgr., *Hyppa rectilinea* Esp., *Calocampa solidaginis* Hb., *Plusia interrogationis* L., *Cidaria caesiata* S. V., *C. subhastata* Nolck, *C. albulata*, Schiff., *Teras maccaria* Tr., *Tortrix steineriana* S. V., *Gelechia boreilla* Dougl., *G. viduella* F., *Elachista monticola* WK., *E. turfosella* Hein., etc.

COLÉOPTÈRES (1).

Carabiques. — D'après Putzeys (t. XI, p. XXIX), la Baraque-Michel est caractérisée par les carabiques suivants : *Carabus arvensis* Herbst. var. *Seileri* Heer, *Agonum* (*Anchomenus*, *Platynus*) *ericeti* Panz. (arctique-alpine, t. XXII, p. 43; t. XII, pp. 43 et 44; t. IX, p. XXIX; t. XXXVI, p. 228),

---

(1) Voir KERREMANS, *Catal. des Coléoptères de Belgique.* Bruxelles, 1880; PREUDHOMME DE BORRE, *Quatre centuries de Coléoptères de la province de Liége*, 1881-1888. Brux. Mayolez; de nombreuses notices dans les publications de la *Soc. entom. de Belgique,* notamment des listes de coléoptères de la Baraque-Michel (t. IX, p. XXIX; t. XI, p. XCV; t. XIV, pp. LVIII, LX; t. XXXIII, pp. XIV, CLXVIII, CLXXXV).

Agonum gracilipes Duftsch. (t. XXII, p. 43), *Platysma angustatus* Duft., *Amara famelica* Zim., *Anisodactylus nemorivagus* Duft., *Harpalus fuliginosus* Duft. (arctique-alpine) (t. XI, p. xcv), *Bradycellus cognatus* Gyll. (t. II, p. xcv) (arctique-alpine), *B. similis* Def., *Trechus rubens* Fabr. (*paludosus*) (arctique-alpine), *Bembidium mannerheimii* Sahlb., *B. humerale* Sturm. (arctique-alpine).

A cette liste, on peut ajouter les espèces subalpines ou montanes suivantes : *Carabus irregularis* Fab. (alpin), (t. XI, p. xcv ; t. XXX, p. 8), *Carabus purpurascens* Fab. var. *exasperatus* (?) (t. XI, p. xcv ; t. XXX, pp. 17 et cvii), *Bembidium ruficorne* Sturm., *B. nigricorne* Gyll. (t. XVIII, p. cvii), *Notiophilus rufipes* (t. XI, p. xcv), *Steropus* (*Pteropus*) *aethiops* Panz. (t. XXX, p. 16), *Amara convexior* Steph. (t. XXXV, pp. ccccv et ccccxxvi) et les espèces arctiques-alpines ou arctiques : *Cymindis vaporariorum* Linn. (t. XI, p. xcv), *Amara quenselii* (t. XXXV, p. ccccxxvi), Schh. *monticola* Dej. (t. XXX, p. cccxxvi), *Amara praetermissa* Sahel, *Amara famelica* Zim., *Amara continua* (t. XXXV, p. ccccv), *Amara convexior* Steph. (t. XXXV, p. ccccxxvi), *Amara silvicola* Zim. (t. XXXVIII, p. cvii), *Trechus obtusus* Er.

Parmi les Dytiscines : *Agabus congener* Payk. (arctique-alpin) (t. XXVII, p. xiii), *Agabus affinis* Payk. (arctique-alpin) (t. XXX).

Parmi les Cantharidiformes, les espèces subalpines ou montanes : *Cantharis* (*Thelephorus*) *violacea* Payk. (t. XI, p. xcv ; t. XXXIV, p. 137), *Cantharis* (*Thelephorus*) *figurata* Mamrh. (t. XXXIV, p. 137), *Cantharis abdominalis* Fab. t. XXXIV, p. 137), *Rhagonycha redtenbacheri* Maerkel) (*Pygidia denticollis* Schumm.) (t. IX, p. lviii ; t. XIV, p. xv).

Podabrus alpinus Payk. (B. S. E. B., t. XI, p. xcv ; t. XIV, p. lviii ; t. XXXIII, p. xiv ; t. XXXIV, p. 137).

Parmi les Élatérides subalpins ou d'espèces montanes : *Corymbites castaneus* Linn., *Corymbites haematodes* Fab.,

Corymbites affinis Payk. (arctique-alpin) (t. IX, p. XXIV; t. XIV, p. LVII). *Corymbites quercus* Gill. (t. IX, p. XXIX; t. XI, p. XCV; t. XIV, p. LVIII), *Corymbites angustulus* Kiesw. (t. IX, p. XXIX; t. XI, p. XCV; t. XIV, p. LVII).

Mais surtout : *Corymbites heyeri* (t. XXXIX, p. 332). *Corymbites aeruginosus* Fab. *cupreus* Fab. (t. IX, p. XXIX; t. XI, p. XCV; t. XIV, p. LVIII; t. XXXVI, p. 226) et *Corymbites virens* Schrank (*aeneicollis* Cand. *aulicus* Panz.) (t. VII, p. 138), qui n'a été pris que deux fois en Belgique, au Hockai, par J. GÉRARD, le 29 mai 1892 et le 11 juin 1903.

Citons également *Dascillus cervinus* Linn. (t. XXXIV, p. 137).

LAMEERE (t. XXXVIII, p. 295) cite les trois longicornes suivants comme caractéristiques du plateau de la Baraque-Michel : *Rhagium inquisitor* L. (*indagator* Fabr.) (t. XXVII, p. CXXXVIII), *Oxymirus cursor* (t. XXVII, p. CXXXVIII), *Leptura virens* (t. XXVII, p. CXXXVIII).

Parmi les Coléoptères appartenant à d'autres groupes, citons :

Adoxus obscurus Linn. var. *Epilobi*, *Phytodecta quinquepunctata* (t. XXXVII, p. 89), *Timarcha metallica* Laich., *Cassida stigmatica* (t. XXXVII, p. 90), *Pyrochroa pectinicornis* Linn. (t. XIV, p. LVIII; t. XXXVI, p. 79; t. XLIII, p. 312; t. XXXIX, p. 332).

Parmi les Staphylinides :

Homalium inflatum Gyll. et *Tachinus elongatus* Gyll. (t. XIV, p. LIV).

Les espèces suivantes, à caractère alpin moins marqué, ont été signalées également :

Carabus nitens Linn., *Patrobus excavatus* Payk., *Carabus monilis* var. *regularis* Wissm , *Cychrus rostratus* (t. XXX, p. XIV), *Leistus rufescens* Fabr., *Anchomenus* (*Agonum*) *gracilis*, *Cymindis humeralis* Four., *Bradycellus verbasci* (t. XXXV, p. CCCV), *Anisodactylus nemorivagus* Duft.,

Bradycellus similis Def. (t. XI, p. XXIX), *Hylecoetus dermestoïdes* Latr. (pris par GÉRARD, 12 mai 1895), *Ernobius nigricornis* St. (t. IX, p. XXIX), *Rhagonycha atra* (t. XXX, p. IV), *R. elongata* et *R. translucida* (t. XI, p. XCV), *Absidia pilosa* Payk (t. XI, p. XCV; t. XXXIV, p. 137), *Trichodes* (*Clerus*) *apiarius* Linn., *Hydrocyphon deflexicollis* F. Müll., *Campylus linearis* Linn. (t. XIV, p. LVIII; t. XXXIII, p. XIV), *Corymbites pectinicornis* Linn., *Sericosomus brunneus* Linn., *Agriotes gallicus* Lacord., *Agriotes picipennis* Bach., *Megapenthes tibialis* Lac. (t. XI, p. XCV), *Helophorus aeneipennis*, *Lathridius nodifer* Westw., *Anatis* (*Halyzia*) *ocellata* Linn. (t. XXXIII, pp. XV et CLXVIII), *Leptura quadrifasciata* Linn. (*S. ferrea*), *Agapanthia angusticollis* (t. XXXIII, p. XIV), *Stenostola nigripes* Fab. (t. XIV, p. LIV; t. XXXIII, p. CLXVIII), *Lema lichenis* var. *obscura* (t. XXXVII, p. 88), *Crioceris brunnea* Fabr. (t. XI, p. XCV), *Donacia sericea* Linn., *discolor* Panz., *rustica* Kunze, *affinis* Kunze et *pallipes* Kunze (t. XIV, p. LIX), *Cryptocephalus flavescens* Schneid., *pygmaeus* et *macellus* (t. XIV, p. LIX), *C. biguttatus* (t. XXXIII, p. XIV), *C. 10 maculatus* Linn. var. *bothnicus* Linn., *Adoxus obscurus* Linn., *Gonioctnena flavicollis* Suff. et *pallida* (t. XIV, p. LIX, et t. XIX, p. LIX), *Chrysomela marginalis* Duft., *Timarcha montana* (t. XIX, p. LX), *Chaetocnema subcoerulea* Kutsch. (t. XIV, p. LIX), *Tychius quinquepunctatus* Linn. (t. XLIII, p. 38), *Cryptorrhynchus riparius* (t. XI, p. XCV), *Barynotus squalidus* (t. XIV, p. LVIII), *Tropiphorus carinatus* O.-F. Mull. (t. XIV, p. LVIII), *Lioploeus aquisgranensis* Först. (t. XIV, p. LVIII), *Otiorrhynchus unicolor* Hbst. (t. XI, p. XCV), *Ceuthorrhynchus angulosus* (t. XIV, p. LVIII; t. XLIV, p. 379), *Cistela* (*Gonodera*) *triandra* et *pallida* (t. XI, p. XCV), *Coenopis fissirostris* Walton (t. XIV, p. LVIII), *Mordellistena parvula* Gyll. (t. XIV, p. LIX), *Lissodema quadripustulatum* Marsh. (t. XIV, p. LIX), *Abdera 4 fasciata* Curt. (t. XIV, p. LIX), *Hoplia farinosa* Linn. (t. XI, p. XCV; t. XIV, p. LVIII;

t. XXXII, p. 4), *Cephennium thoracicum* Müll. et Kunze (t. XIV, p. LIX), *Acidota crenata* Fabr. (t. XIV, p. LIX), *Acidota cruentata* Mannersh. (t. XIV, p. LIX), *Compsochilus palpalis* Er. (t. XIV, p. LIX), *Bythinus Burelli* Dem. (t. XIV, p. LIX), *Claviger longicornis* Müll. (t. XIV, p. LIX), *Trichonyx markelii* Aubé (t. XIV, p. LIX).

DIPTÈRES (1).

Parmi les Diptères intéressants récoltés au plateau de la Baraque-Michel, je citerai :

Sargus infuscatus Meig. (Alpen S.).

Tabanus micans Meig. (Hochgebirge S.), 7 avril, 17 juin, 24 juin.

Tabanus plebeius Fall. (Schlesien S.), Ombellifères, 20 juillet.

Empis borealis L., 3 mai, 28 mai.

Hilara litorea Fall. (Mittel. u. Hochgeb. S).

Leptis tringaria L., 20 juillet.

Microdon devius L., (Bergwiesen S.), 11 juin.

Chrysotoxum fasciolatum Deg. (Alpen u. Voralpen S.), fleurs de Sorbier.

Chrysotoxum arcuatum L. (Hochalpenregion S.), 28 mai, 8 juin, 24 juin. Sorbier.

Cheilosia oestracea L. (Hochgebirge, Mittelgebirge S.), 22 juin, 30 juin, 5 juillet, 9 juillet. Ombellifères (*Heracleum*).

---

(1) Les indications de station (en allemand) sont extraites de RUD. SCHINER, *Die Fliegen*. Wien, 1862 *(Fauna austriaca)*. Les dates sont celles de mes captures ou de celles de M. J. HAMAL. Consulter : *Excursion diptérologique dans l'Hertogenwald* (t. XXXVI, p. 467; t. XL, p. 467); *Excursion diptérologique*, par COUCKE (t. XXXVII, p. 134); J.-C. JACOBS, *Dipt. belges ; Muscides* (t. XLIV, p. 192); *Syrphidae* (t. XLV, p. 324); *Tipulidae, etc.* (t. XLVII, p. 350).

Cheilosia carbonaria Egg. (Schneeberg S.), 5 juin.

Eriozona syrphoïdes Fall. (Alpen S.), 7 et 8 juin. Fleurs de Sorbier.

Syrphus pyrastri L. (Hochgebirge S.). Très commun partout. Juillet, août.

Syrphus laternarius Mill. (Hochgebirge S.), 30 juin, 5, 9, 18, 20 juillet. Sur les Ombellifères (*Heracleum, Angelica*).

Syrphus glaucius L. (Mittelgebirge S.), 17 août, 3 septembre. Ombellifères (*Angelica*).

Syrphus hilaris Zett. (Scheeberg S.), 19 mai.

Syrphus venustus Meig. (Waldberge, Schneeberg S.), 17 mai, 8, 18 juin.

Syrphus tricinctus Fall., 10 mai.

Syrphus lunulatus Meig. (Hochgebirge S.), 3 juin.

Syrphus albostriatus Fall. (Hochgebirge S.).

Syrphus topiarius Meig. (Hochgebirge S.), 8, 24, 25 juin.

Syrphus annulipes Zett. (Hochgebirge S.), 3, 4 juin. Fleurs de Sorbier.

Syrphus balteatus Deg., très commun. Février, juin, juillet, août.

Syrphus grossulariae Meig. (Voralpen S.), 6 juillet, 3 septembre.

Syrphus nitidicollis, Meig., 11, 24 juin.

Didea alneti Fall. (Hochgeb. S.). Ombellifères, 28 mai, 17 août.

Didea fasciata Macq. (Mittelgeb. S.), 6 juillet. Fleurs de Sorbier.

Doros conopseus Fabr. (Leithagebirge S.), 9 juin, sur les feuilles au soleil.

Rhingia rostrata L. (Schneeberg, Alpen u. Voralpen S.), 14 mai.

Rhingia campestris Meig. (Hochgebirge S.), mai, juin, juillet.

Sericomyia lappona L. (Schneeberg S.), 19 mai, 3, 9 juin. Fleurs de *Caltha*, sur la tourbe.

Sericomyia borealis Fall. (Hochgebirge S.), 3, 8, 9, 16, 22, 23, 24, 30 juin, 3, 17, 26 août, 3 septembre. Sur la tourbe, plantes basses.

Arctophila bombiformis Fall. (Schneeberg, Gebirgsthalern S.), 11 août.

Arctophila mussitans Fabr. (Leitha-, Kahlengebirge S.), 15 août.

Eristalis cryptarum Fabr. (Hochgeb. S.), 6 juin.

Eristalis intricarius L. (Mittelgeb. S.), 3, 17, 26 août, 11 juin. Ombellifères, *Jasione montana*.

Eristalis rupium Fabr. (Hochgebirgsart S.), 11, 24 juin, 2 septembre. Fleurs de Sorbier.

Eristalis pratorum Meig. (Leithageb. S.), 3, 24 juin, 20 juillet.

Eristalis nigritarsis Macq., 24 juin.

Brachypalpus valgus Panz. (Waldgebirge S.), 14 mai, 22 juin.

Merodon equestris Fabr., 20 juillet, 3, 4 août. *Jasione montana*.

Xylota florum Fabr., 7 juillet. Sur les feuilles au soleil.

Xylota abiens Meig., 22 juin. Sur les feuilles au soleil.

Spilomyia bombylans Fabr.

Spilomyia speciosa Rossi, juin. Sur les feuilles au soleil.

Alophora hemiptera Fabr., 27 juin. Ombellifères.

Echinomyia ferox Panz.

Echinomyia grossa L., 3, 4 août, 18, 20 juillet. Ombellifères, *Angelica*.

Echinomyia magnicornis Zett.

Trixa alpina Meig. (Schneeberg S.), 7 juin. Fleurs de Sorbier. Plantes basses.

Gonia fasciata Meig.

Zophomyia temula Scopoli, 9 juin, 11 juin, 30 juin.

Ombellifères.

Simulia sp. (*S. reptans* L. ?) (1).

Amalopis tipulina Egg. (Hochgeb. S.).

Tipula irrorata Macq.

Pachyrhina histrio Fabr.

Erioptera lutea Meig.

Ulomyia fuliginosa Meig.

ORTHOPTÈRES (2).

Chelidura acanthopyia Gené. C'est la seule espèce subalpine citée par le catalogue de DE SELYS.

NÉVROPTÈRES, Y COMPRIS LES PSEUDONÉVROPTÈRES (2).

Voici les espèces des Hautes-Fagnes que le catalogue de DE SELYS signale comme spécialement alpines ou arctiques :

Somatochlora arctica Zetterstedt (*Cordulia subalpina* de Sel.) (t. XXVI, p. VIII) (arctique-alpine). Hautes-Fagnes.

Aeschna juncea L. (arctique-alpine). Hautes-Fagnes, Ardenne et Campine.

Agrion lunulatum Charp. (subalpine). Ardenne et Campine (t. XX, p. XXXI).

Panorpa alpina Ramb. (subalpine). Hautes-Fagnes, Ardenne, Condroz, etc.

---

(1) Espèce fort gênante en été, par les démangeaisons qu'elle occasionne à la peau. AUG. HOFFMAN la cite également comme un fléau du promeneur sur les tourbières du Harz.

(2) EDM. DE SELYS LONGCHAMPS, *Cat. rais. des Orthoptères et des Névroptères de Belgique,* 3 mars 1888. (ANN. SOC. ENTOM. BELGE, t. XXXII, p. 103.)

Neuronia ruficrus Scop. (subalpine). Hautes-Fagnes, Campine.

Asynarchus coenosus Mc Lachl. (subalpine). Hautes-Fagnes.

Stenophylax luctuosus Pillen (subalpine). Hockai, Gileppe, Arlon.

Sericostoma personatum Spence (espèce septentrionale). Spa, Gileppe, etc.

Sericostoma turbatum Mc Lachl. (subalpine). Gileppe, Ardenne, Condroz.

Philopotamus ludificans Mc Lachl. (subalpine). Spa, Bouillon, Poix.

Les espèces suivantes sont également plus ou moins caractéristiques des Hautes-Fagnes. La plupart se retrouvent en Ardenne et en Campine.

Leucorrhinia dubia Van der Linden.
Diplax pedemontana Allioni.
Leptophlebeia marginata L.
Rhitrogena semicolorata Curt.
Ecdyurus venosus Fab.
Nemoura cinerea Oliv.
Nemoura variegata Oliv.
Chloroperla grammatica Scopoli.
Hemerobius atrifrons Mc Lachl.
Hemerobius concinnus Steph.
Notochrysa capitata Fab.
Phryganea striata L.
Limnophilus submaculatus Ramb.
Limnophilus centralis Curt.
Limnophilus vittatus F.
Limnophilus luridus Curt.
Stenophylax alpestris Kolen.
Rhyacophila septentrionis Mc Lachl.
Rhyacophila dorsalis Curt.

HÉMIPTÈRES.

Les Hémiptères des Hautes-Fagnes ont été étudiés par H. Schouteden qui en a donné dans les *Annales de la Soc. entom. Belg.* (1901, t. XLV, pp. 365-272) une liste comprenant plus de 200 espèces, recueillies pendant un séjour fait à Francorchamps, du 20 juillet au 5 août 1901.

M. Schouteden appelle mon attention sur :

Pentatoma juniperina L.

Asopus punctatus L.

Thamnotettix abietinus Fall. (Voir plus bas.)

Lachnus piceicola Chol. et sa variété *viridescens.*

Lachnus piceae Panz.

On y avait signalé quelques espèces subalpines, notamment :

Salda morio Zett. (Lameere, *Faune Belg.*, II, 178).

Salda nigricornis, t. XXVI, p. cxxxix.

Orthostira musci Schr., t. XXVI, p. cxxxvii.

Aradus corticalis L. et *varius* Fabr., t. XXVI, p. cxxxix.

Sigara minutissima L., t. XXVI, p. cxxxix.

Ainsi que quelques autres espèces remarquables :

Thamnotettix abietinus Fallen, t. XXVIII, p. cxxvii.

Plagiognathus arbustorum Fab. var. *brunnipes*, t. XLIII, p. 438.

Nabis lineatus Dahlb., t. XLIV, p. 465.

Phymata crassipes Fab., t. XXVI, p. cxxxvii.

Palomena prasina L. (*dissimilis* Fab.), t. XL, p. 495.

Rubiconia intermedia Wolff (Lameere, *Faune Belg.*, II, p. 206).

Acanthosoma dentatum Degeer (*lituratum* Zetterst), t. XL, p. 495.

HYMÉNOPTÈRES.

Ce groupe n'a pas fait l'objet de publications au point de vue qui nous occupe.

Parmi les espèces remarquables que j'ai recueillies au plateau de la Baraque-Michel, je citerai :

Sirex gigas L.

M. Schouteden a bien voulu me communiquer la liste suivante des Hyménoptères de la collection Tosquinet du Musée d'histoire naturelle, portant l'étiquette Hestreux (510 m.), Hockai ou Francorchamps.

Abia sericea L. Hockai.
Lophyrus frutetorum F. Hockai.
Polyblastus melanostigmus Hahn. Hestreux.
Perilyssus ventrator Grav. Hestreux.
Exenterus erosus Holmgr. Hestreux.
Mesoleius lophyrorum Hertz. Hestreux.
Mesoleius rufus Grav. Hestreux.
Mesoleius caligatus Grav. Hestreux.
Euceros egregius Holmgr. Hestreux.
Euceros crassicornis Grav. Hestreux.
Listrodromus nycthemerus Grav. Hestreux.
Hypomecus albitarsis Wesm. Hestreux.
Rhyssolabus bassiceus Kirschb. Francorchamps.
Phæogenes melanoginus Grav. Hestreux.
Phaogenes nanus Wesm. Hestreux.
Gnathoxys marginellus Grav. Hestreux.
Notosemus Rohmanni Wesm. Hestreux.
Diadromus varicolor Wesm. Hestreux.
Ischnogaster albibucca Kriechb. Hestreux.
Pimpla mandibularis Grav. Hestreux.

Pimpla oculatoria F. Hestreux.
Pimpla brevicornis Grav. Hestreux.
Amblyteles margineguttatus. Hestreux.
Amblyteles latebricola Wesm. Francorchamps.
Ephialtes manifestator L. Hestreux.
Ephialtes antefurcalis Thom. Hestreux.
Polysphincta nigricornis Holmgr. Hestreux.
Agrothereutes abbreviator. Grav. Hestreux.
Cymodusa exilis Holmgr. Hestreux.
Sagarites raptor Gravenh. Hestreux.
Anilasta dolosa Grav. Hestreux.
Anilasta rufocincta Grav. Hestreux.
Angitia majalis Grav. Hestreux.
Angitia armillata Grav. Hestreux.
Omorga lugubrina Holmgr. Hestreux.
Mesochorus thoracicus Grav. Hestreux.
Ichneumon castaniventris Hestreux.
Ichneumon castaneus Grav. Hestreux.
Ichneumon cyanellus Grav. Hestreux.
Ichneumon horridator Grav. Hestreux.

M. Lameere me signale comme ayant un léger caractère subalpin :

Tenthredo velox Fab.
Tenthredo balteata Klug.

et les espèces intéressantes suivantes :

Tenthredo ferruginea Sch.
Ichneumon horridator Fab.
Camponotus herculeanus (*ligniperdus* Fab.).

—

L'Évolution des ornements sexuels; par Aug. Lameere, professeur à l'Université de Bruxelles.

C'est un entomologiste qui a le grand honneur de pouvoir prendre aujourd'hui la parole dans cette assemblée; il vous parlera d'Insectes, non pour se complaire dans sa spécialité, mais pour essayer de résoudre un problème passionnant de la science de la vie, le problème de la parure sexuelle.

Le mâle est le beau sexe : cet aveu est d'autant plus pénible à faire que s'il est de rares exceptions à une loi générale, il ne faut point compter parmi elles l'espèce humaine; par beau sexe, les zoologistes entendent, en effet, le sexe le plus orné. La barbe, les cornes, chez les Mammifères; le chant, les belles plumes chez les Oiseaux; les protubérances bizarres ou les mandibules fantastiques chez les Scarabées; la coloration somptueuse des ailes chez les Papillons, manquent ou sont fréquemment moins développés dans la femelle; l'infériorité de celle-ci à l'égard de ces caractères, que Hunter a appelés les caractères sexuels secondaires, est manifeste, et il s'agit d'en trouver l'explication.

Darwin a cherché à interpréter le fait par ce qu'il a appelé la sélection sexuelle (1). Sous cette dénomination, il a réuni deux ordres de phénomènes, une sélection

---

(1) Après avoir signalé la sélection sexuelle dans le chapitre IV de l'ouvrage *On the origin of species by means of natural selection,* Darwin lui a consacré toute la seconde partie de *The descent of man and selection in relation to sex.*

bien réelle, la sélection par combativité des mâles, et une sélection très hypothétique, la sélection par séduction des femelles.

Les mâles forment en général le sexe le plus nombreux; ils se battent afin de vaincre leurs rivaux; cela est vrai du Lièvre comme du Lion, du Papillon comme du Scarabée; le résultat est une sélection des plus forts pour la reproduction; sous l'effet de la variabilité ont pu apparaître des armes offensives : cornes ou éperons, qui portent des coups mortels, et des armes défensives : barbes ou collerettes, qui protègent la gorge particulièrement vulnérable; les mâles les mieux armés auront eu le plus de chance de laisser des descendants, et, par hérédité, ils auront transmis à leur postérité mâle les caractères qui leur ont valu la supériorité dans les combats. Ainsi, de génération en génération, les armes sexuelles auront subi une évolution progressive.

Mais les armes ne constituent pas tous les caractères sexuels secondaires; il y a encore les ornements, aussi remarquables que variés, et sans utilité apparente à première vue : c'est à eux que Darwin applique sa théorie de la sélection par séduction des femelles.

Chez les Oiseaux, les mâles font la roue, étalent leur plumage, cherchent à mettre en valeur leurs atours auprès de l'autre sexe : Darwin croit que les femelles choisissent leur mâle, et sur cette hypothèse il en greffe une autre, celle que les femelles choisiraient le mâle le plus beau. Après une première élimination due à la combativité, il y en aurait donc une seconde : les mâles les mieux ornés parmi les plus forts, seraient en définitive, seuls les élus de l'amour. Ils transmettraient à leurs

descendants mâles, par hérédité, les caractères esthétiques qui leur ont valu d'être choisis pour la reproduction, et ainsi, de génération en génération, les femelles s'unissant toujours aux mâles les plus beaux, les ornements sexuels aussi subiraient une évolution progressive (1).

Darwin, avec son extrême bonne foi habituelle, a insisté lui-même pour déclarer que les observations plaidaient contre sa thèse.

Aussi Wallace, qui partage avec le génial auteur de l'*Origine des Espèces* la gloire impérissable d'avoir découvert la sélection naturelle, phénomène qui avait presque totalement échappé aux anciens et qui explique la finalité des organismes, Wallace rejette tout concept de sélection par séduction des femelles (2).

---

(1) Admettons un instant que cette théorie puisse être vraie pour les Oiseaux dont les mâles nous charment nous-mêmes par leur chant et par leur plumage, admettons qu'elle soit vraie pour l'ensemble des Vertébrés, lesquels ont une vision et une psychologie supérieures à celles de tous les autres Animaux. Il est certain qu'elle ne peut s'appliquer aux Invertébrés; l'observation montre en effet que la femelle ne choisit pas son mâle, même chez les Insectes; le ferait-elle d'ailleurs, qu'elle ne pourrait choisir le plus beau, le mieux orné, car il est de ces ornements sexuels que la femelle n'a jamais l'occasion de voir, vu leur position sur le corps du mâle; aurait-elle cette occasion, qu'elle ne pourrait pas exercer son problématique jugement, attendu que tous les Invertébrés ont une vision bien peu comparable à la nôtre, que les Insectes eux-mêmes ne distinguent pas la forme des objets et ont une vue très mauvaise. Comment saisiraient-ils des différences que nous ne pouvons nous-mêmes parfois apprécier qu'à la loupe?

(2) Les idées de Wallace sont exposées dans le chapitre VII de l'ouvrage *Natural Selection,* dans le chapitre V de *Tropical Nature* et dans le chapitre X de *Darwinism.*

L'illustre émule de Darwin a tenté de ramener les ornements sexuels sous le joug de l'interprétation que nous devons donner des autres caractères des êtres vivants, leur *utilité* dans des conditions déterminées d'existence, et il a cherché à expliquer les différences que présentent les sexes par une différence d'habitudes. Une parure éclatante ou des marques distinctives chez les Papillons, chez les Oiseaux et chez les Mammifères seraient utiles à l'espèce en permettant aux individus de se reconnaître, mais ces ornements seraient nuisibles chez la femelle en attirant l'attention de ses ennemis pendant qu'elle pond, qu'elle couve ou qu'elle allaite.

Wallace considère par conséquent la beauté comme utile; il admet que, étant l'apanage du mâle, elle témoigne dans ce sexe d'une intensité plus grande de la vie. Étendant en effet les observations faites par A. Tylor (1), il constate que les marques décoratives des Animaux dépendent de la structure anatomique, que les couleurs et les plumes ornementales n'apparaissent, par exemple, sur le corps de l'Oiseau mâle que dans les régions où l'afflux sanguin est à son maximum. Le sang apporterait donc à ces régions une énergie qui manque chez la femelle, et cette exubérance, Wallace l'attribue à la sélection par combativité : celle-ci, en ne permettant qu'aux mâles les plus forts de se reproduire, accentuerait à chaque génération l'excès de vitalité de ce sexe et par conséquent sa beauté.

Ces ingénieuses considérations ont fortement ébranlé la croyance en la sélection sexuelle, mais comme on a

---

(1) A. Tylor, *Coloration in Animals and Plants*. London, 1886.

reproché, avec raison, à Wallace de ne pas avoir donné une solution complète au problème, la question est restée indécise; tous les naturalistes sont d'accord pour admettre la sélection par combativité des mâles, sans toutefois y voir un phénomène absolument général ni absolument nécessaire et en la considérant comme une des multiples nuances de la sélection naturelle; mais en ce qui concerne la sélection par séduction des femelles ou sélection sexuelle proprement dite, les avis sont très partagés (1); il est des savants qui adoptent même une opinion intermédiaire entre celle des convaincus et celle des opposants, niant que cette sélection puisse être consciente, comme l'a voulu Darwin, et ne l'admettant aussi que comme une nuance de la sélection naturelle (2).

Une simple comparaison avec le mécanisme de la sélection naturelle va nous montrer que, contrairement à une illusion générale, une sélection laissée au caprice des femelles ne pourrait pas amener l'évolution progressive de la beauté chez le mâle.

Le phénomène de la sélection suppose un agent de la sélection et un déterminant de la sélection. Dans la sélection naturelle, l'agent de la sélection est la lutte pour l'existence ou, si l'on veut, la mort qui épargne davantage les plus aptes et qui fauche prématurément les mal adaptés; le déterminant de cette sélection est la circonstance à laquelle l'organisme doit se plier; or, et c'est là une condition essentielle, il ne peut y avoir

---

(1) On trouvera dans le chapitre III de l'ouvrage de L. Plate (*Ueber die Bedeutung des Darwin'schen Selectionsprincips und Probleme der Artbildung,* zweite Auflage. Leipzig, 1903) l'exposé de la discussion des différentes théories relatives à la sélection sexuelle.

(2) Entre autres E. von Hartmann (*Philosophie des Unbewussten*).

évolution progressive vers l'adaptation que si le déterminant de la sélection reste invariable.

Au Sahara, un grand nombre des Animaux ont la teinte isabelle du désert et sont invisibles; des Oiseaux qui volent, on ne distingue que l'ombre, et il faut mettre en quelque sorte la main sur les Vipères, sur les Scorpions et sur beaucoup d'Insectes pour s'apercevoir de leur existence. La mort a oublié de préférence ceux qui, à chaque génération, se rapprochaient de plus en plus de la couleur du sable, parce que ceux-là avaient plus de chance d'échapper à leurs ennemis ou de surprendre leur proie. Le déterminant de la sélection a été ici la teinte du désert; si ce déterminant avait varié, ne fût-ce qu'à des intervalles même assez éloignés, l'idéale invisibilité des Animaux du Sahara n'aurait jamais pu être atteinte.

Dans la sélection sexuelle, l'agent de sélection serait la femelle qui choisirait les élus, et le déterminant de la sélection serait son caprice. Pour qu'il y eût progression vers un idéal de beauté chez le mâle, il faudrait que le goût des femelles fût invariable, au moins chez presque toutes les femelles d'une même espèce et à chaque génération. Si le déterminant de la sélection des mâles était logé dans une cervelle d'Oiseau ou de Papillon, nous aurions une excessive variabilité des caractères sexuels secondaires d'ornementation chez les individus d'une même espèce, ce qui est contraire aux faits (1).

---

(1) La sélection par séduction des femelles amènerait fatalement ce que produit la sélection artificielle lorsqu'elle est laissée au caprice. Dans la reproduction des Animaux domestiques, l'agent de la sélection est l'Homme, et le déterminant de la sélection peut être invariable ou variable. S'il est invariable, il consiste en l'idéal d'une race, et l'Homme arrive à créer ainsi des collections d'individus

Je ne puis, quant à moi, considérer le principe de la sélection sexuelle que comme une séduisante erreur; je suis même tenté de nier ce genre de sélection pour l'espèce humaine, chez laquelle la variabilité du goût est passée à l'état de proverbe.

C'est donc l'esprit dégagé de toute idée préconçue que nous aborderons le problème de la parure sexuelle. Nous lui appliquerons une méthode que l'état encore imparfait des connaissances zoologiques rendait inabordable à Darwin et à Wallace, la méthode de l'évolution. Faisons pour les ornements sexuels ce que nous faisons en anatomie comparée pour n'importe quel organe, c'est-à-dire qu'après avoir établi la généalogie d'un groupe, nous suivrons les métamorphoses de la parure sexuelle dans ce groupe, depuis ses rudiments jusqu'à son apogée, voire jusqu'à son déclin ou sa disparition. De cet historique des caractères sexuels secondaires, nous pourrons, peut-être, tirer des arguments pour en comprendre la signification.

Afin de fixer les idées, prenons un exemple chez des Animaux qui nous sont familiers et dont la classification est parfaitement établie, grâce à des documents paléontologiques nombreux, les Ruminants.

---

presque tous identiques, collections qui ressemblent aux espèces naturelles. Mais à côté des lévriers et des bassets, il y a la multitude pittoresque des chiens des rues; ceux-là également ont été choisis par l'Homme, car la progéniture des chiens est limitée; quel est ici le déterminant de cette sélection, le caprice de l'Homme, un déterminant éminemment variable; quel est le résultat? Une variabilité excessive. La collection des mâles d'une même espèce d'Oiseaux ressemble à une race pure et non à une collection de chiens des rues, ce qui serait cependant si le caprice des femelles était le déterminant de la sélection des ornements sexuels.

Les zoologistes modernes ont réduit cet ordre de Mammifères à l'ensemble constitué par les Chevrotains, les Cerfs, les Girafes et les Antilopes, dont les Taureaux, les Béliers et les Boucs ne sont que des formes spécialisées, c'est-à-dire qu'ils en ont exclu les Lamas et les Chameaux (1). Nous pouvons admettre que du groupe primordial des Chevrotains s'est détachée une catégorie de Cervidés primitifs qui ont été les ancêtres de tous les Ruminants. Les mâles des Chevrotains ont les canines supérieures développées en défenses ; les mâles des Cerfs, des Girafes et des Antilopes ont perdu ces armes, mais ils offrent en revanche des cornes. Le Cerf Muntjac, ayant encore des défenses assez grandes et déjà de petites cornes, nous montre que les unes ont été remplacées par les autres au cours de l'évolution. Les Cerfs, tant fossiles qu'actuels, comme tous les Chevrotains, n'ont point d'armes chez les femelles; seul le Renne, Cervidé supérieur par son ostéologie, porte des bois dans les deux sexes : ces bois restent cependant plus grêles et moins bien développés chez la femelle que chez le mâle. Parmi les Girafidés, le *Samotherium* miocène et l'Okapi du Congo (2), types primitifs, ont deux petites cornes, chez le mâle seulement, tandis que la Girafe, d'organisation supérieure, offre deux cornes bien plus grandes que celles de l'Okapi dans les deux sexes, celles de la femelle étant toutefois moins robustes que celles du

---

(1) Flower and Lydekker, *An introduction to the study of Mammals living and extinct.* London, 1891.

(2) Aug. Lameere, *L'Okapi.* (Revue de l'Université de Bruxelles, 1902.) L'*Okapia Johnstoni* de Sclater, l'*Okapia Liebrechtsi* de Forsyth Major et l'*Okapia Erikssoni* de Ray Lankester ne forment qu'une seule espèce.

mâle, qui possède en outre trois protubérances supplémentaires. Presque toutes les Antilopes ont des cornes dans les deux sexes, mais il en est de primitives qui n'en montrent que chez le mâle. Les cornes des femelles des Antilopidés sont moins volumineuses que celles du mâle, sinon le mâle offre un caractère sexuel secondaire de plus, il a une robe plus belle, plus riche en pigmentation, ou bien il présente les particularités qui distinguent le taureau de la vache. Les femelles des Ruminants ont donc hérité des cornes de leurs mâles, mais seulement à une époque tardive de l'évolution; ni chez le Renne, ni chez la Girafe, ni chez les Antilopes supérieures, l'égalité des sexes n'a cependant été atteinte. La différence paraît originelle et irréductible pour ces Animaux; il semble bien y avoir chez le mâle une plus grande intensité de la vie; cette exubérance est-elle due à la sélection par combativité, ainsi que le veut Wallace, le perfectionnement des cornes a-t-il été amené exclusivement par la survivance des mâles les mieux armés, comme l'a supposé Darwin? Évidemment non, car dans ces hypothèses les espèces actuelles auraient des cornes plus développées que les espèces fossiles; certes, c'est parmi les Cerfs quaternaires et les Cerfs modernes que l'on trouve les possesseurs des ramures les plus riches en andouillers, mais notre Chevreuil, qui, par la structure du crâne et des membres, est allé plus loin dans l'évolution que notre Cerf des Ardennes, n'a pas les bois plus perfectionnés que ceux des Cerfs miocènes (1), et l'Okapi a les mêmes cornes que le *Samotherium*. Ce

(1) A. Gaudry, *Les enchaînements du monde animal dans les temps géologiques. Mammifères tertiaires.* Paris, 1878.

n'est pas avec le temps que s'accentue le dimorphisme sexuel, c'est avec l'accroissement de taille : le cerf diffère davantage de la biche que le chevreuil de la chevrette, et la somme des caractères sexuels secondaires est proportionnellement plus élevée chez le mâle de la Girafe que chez le mâle de l'Okapi (1).

L'exemple des Ruminants nous permet déjà d'apprécier les avantages de la méthode que nous employons ; il nous a donné, en outre, l'occasion d'écarter des hypothèses très en faveur, qui sont contraires à des faits démontrés; bien que posant le problème de l'inégalité des sexes dans ses termes exacts, il est cependant tellement loin de l'éclaircir, que nous pourrions avoir maintenant l'impression de nous trouver devant une question insoluble.

L'entomologie va nous permettre de comprendre le mystère (2).

---

(1) Si le développement des armes sexuelles était dû à la sélection par combativité, il faudrait encore expliquer comment il a pu se faire qu'elles ne se sont transmises que tardivement aux femelles : ce n'est pas pour les mâles seuls que les défenses et les cornes constituent un avantage, elles auraient été pour l'autre sexe dès le principe aussi utiles qu'elles le furent dans la suite. La vigueur des étalons que nos éleveurs choisissent soigneusement parmi les plus robustes n'influence-t-elle que leurs descendants mâles seulement? Ce n'est pas ainsi que procède l'hérédité. On sait qu'un taureau né sans cornes a été l'ancêtre de toute une race dans l'Amérique du Sud : il a transmis immédiatement son originalité à ses rejetons des deux sexes. Pourquoi le premier Ruminant mâle qui a possédé des cornes ne les a-t-il pas léguées dès le début à la femelle, pourquoi, lorsque celle-ci eut acquis des cornes, le mâle a-t-il continué à la dépasser dans l'évolution?

(2) L'étude des Insectes m'a convaincu que ces organismes se présentent dans des conditions éminemment favorables à la solution

Les Coléoptères de la famille des Cérambycidés ont reçu de Latreille le nom de Longicornes à cause du grand développement de leurs antennes. Je les étudie depuis longtemps afin de découvrir leur classification considérée comme énigmatique par Lacordaire, et je me suis demandé naturellement pourquoi les mâles ont les antennes plus allongées que dans l'autre sexe. De longues antennes seraient cependant très utiles à la femelle afin de lui permettre de trouver par l'odorat les troncs d'arbre sur lesquels elle doit aller pondre ses œufs; elles lui seraient tout aussi utiles qu'au mâle, qui les emploie à sa recherche.

En appliquant les principes de la zoologie systéma-

---

de maints problèmes de philosophie naturelle. En leur appliquant les méthodes de la systématique moderne, je me suis aperçu que, tout au moins pour un certain nombre de groupes, la mort n'avait guère éclairci leurs rangs depuis le commencement de l'ère secondaire. L'évolution des Vertébrés s'est faite essentiellement par le remplacement d'espèces primitives, que nous retrouvons à l'état fossile, par des espèces plus perfectionnées; l'évolution des Insectes semble, dans bien des cas, avoir consisté en un envahissement progressif du globe, par émigration et par adaptations nouvelles, sans extinction des formes ancestrales. Le Vertébré réclame une place considérable au soleil, et il ne souffre pas de concurrents; l'Insecte, plus modeste, se pliant à tout et se confinant dans une spécialité étroite, résiste mieux à la lutte pour l'existence. Notre planète est pour lui une immensité où les descendants n'éliminent pas nécessairement leurs ancêtres : les Insectes fossiles, nous les avons à l'état vivant, nous pouvons les scruter dans tous leurs détails, et, fait d'une importance capitale, ils nous révèlent l'évolution des mœurs, ce que les ossements des Vertébrés nous cachent le plus souvent à jamais.

tique à ces Insectes (1), j'ai constaté que les formes les plus primitives offrent une égalité complète des sexes au point de vue des antennes, mais celles-ci sont courtes et semblables à celles des Coléoptères dont les ancêtres des Cérambycidés peuvent être considérés comme issus. Dans la suite de l'évolution, les antennes se sont allongées, d'abord chez le mâle seulement, plus tard aussi chez la femelle, sans qu'il y ait eu retour à l'égalité. D'autre part, les Longicornes primordiaux, à antennes courtes et égales dans les deux sexes, présentent chez le mâle des mandibules énormément développées, comme le sont celles du mâle de notre Lucane Cerf-volant, lequel s'en sert comme pince offensive contre ses rivaux et défensive contre les insectivores (2). Au fur et à mesure de l'évolution, nous constatons que le dimorphisme sexuel mandibulaire a été remplacé par le dimorphisme sexuel des antennes; il y a même des espèces qui offrent des mâles à courtes antennes et à grandes mandibules, et des mâles à antennes plus longues, mais à mandibules semblables à celles de la femelle (3). Nous assistons chez

---

(1) Aug. Lameere, *Revision des Prionides*, en cours de publication, depuis 1902, dans les Annales et les Mémoires de la Soc. entom. de Belgique.

Id., *Longicornes de l'Afrique tropicale. I. Prioninae.* (Annales du Musée de l'État Indépendant du Congo, Zoologie, 3e sér., vol. II, 1903.)

(2) Ces grandes mandibules montrent souvent une structure différente d'une espèce à l'autre, mais cette structure est toujours une exagération de ce que présentent les petites mandibules de la femelle, qui s'en sert pour entamer les écorces pour la ponte.

(3) L'exemple le plus remarquable nous est offert par l'*Acanthophorus* (*Tithoes*) *confinis* Casteln., espèce commune dans toute l'Afrique tropicale et australe, à l'exception du bassin du Congo.

le mâle à une véritable lutte pour l'existence entre deux caractères; au développement exagéré des mandibules, d'utilité relative, s'est substitué un allongement des antennes, qui est d'une utilité plus réelle; absolument comme chez les Ruminants, les cornes ont remplacé les défenses. Comme chez les Ruminants aussi, nous voyons les caractères sexuels secondaires transmis aux femelles, mais tardivement, sans que nous aboutissions à l'égalité des sexes, et, toujours comme chez les Ruminants, la différence entre le mâle et la femelle est plus considérable pour les espèces de forte taille que pour les espèces de taille réduite (1).

Il y a des types primitifs de Longicornes dont la grandeur peut varier du simple au double ou au triple selon les individus. Alors nous constatons, dans ces espèces, comme chez notre Lucane Cerf-volant, l'existence de deux formes extrêmes du mâle entre lesquelles peuvent s'observer toutes les transitions : il existe un mâle *major* qui a les mandibules gigantesques et un mâle *minor* dont les mandibules diffèrent beaucoup moins de celles de la femelle.

Demandons-nous s'il n'y aurait pas chez la femelle un caractère qui varierait aussi avec la taille, un caractère qui correspondrait peut-être au caractère sexuel secondaire variable du mâle. Voyons si, entre les femelles *minor* et les femelles *major*, il n'y aurait pas une ou plusieurs différences que nous n'apercevons pas à première vue.

---

(1) L'étude du dimorphisme sexuel des Longicornes est infiniment plus intéressante que ne le laisse soupçonner ce que je viens d'en dire. Je publierai un travail d'ensemble sur ce sujet lorsque ma *Revision des Prionides* sera terminée.

Tous les entomologistes répondront qu'entre une grande et une petite femelle de la même espèce, il y a une différence dans la fécondité : les gaines ovigères de l'une donneront plus d'œufs que les gaines ovigères de l'autre, ce qui se traduit encore par le fait que les chenilles abondamment nourries produisent un papillon femelle plus robuste et plus fécond que les chenilles dont l'élevage a été négligé.

Il y a une seconde différence : la grande femelle, ayant plus d'œufs, aura à fournir un travail plus considérable que la petite pour assurer le sort des larves, et elle pourra faire cet effort supplémentaire, vu le supplément de vigueur que dénote sa taille plus imposante.

Ces variables de l'organisation de la femelle correspondraient-elles à la variable de l'organisation du mâle, c'est-à-dire au caractère sexuel secondaire?

Supposons deux larves de Longicornes de sexe différent ayant subi une destinée identique dans le même tronc d'arbre où elles ont puisé la nourriture qui va leur permettre de donner l'insecte parfait; il y a pour elles égalité de point de départ et égalité de point d'arrivée : elles vont produire un individu mâle et un individu femelle de même taille qui, ne prenant aucune nourriture, devront avoir acquis de leurs larves toute l'énergie nécessaire à leur existence, et cette énergie sera égale de part et d'autre, puisque les larves étaient les mêmes.

Dans les deux sexes, il y aura constitution d'un organisme semblable; la femelle trouvera de plus en elle de quoi former les provisions alimentaires considérables que doivent renfermer ses œufs d'Arthropode; elle aura aussi en elle les réserves nécessaires au travail qu'il lui faut fournir pour assurer le sort de ses rejetons. Plus grande

elle sera, plus elle sera féconde, plus elle sera laborieuse. Le mâle, qui est l'égal de la femelle, n'a pas à bourrer ses cellules reproductrices de deutoplasme, il n'a pas à dépenser de forces pour aller placer des œufs en lieu sûr; il renferme donc un supplément d'énergie : ce supplément d'énergie correspond à ce qui varie avec la taille chez la femelle; il doit, par conséquent, varier aussi avec la taille chez le mâle : il est donc représenté par le caractère sexuel secondaire.

La voilà l'exubérance de vie dont parle Wallace, elle n'est pas due à la sélection par combativité, elle est l'équivalent chez le mâle de l'effort plus grand que doit faire la femelle pour perpétuer l'espèce.

Dans un Longicorne, la somme d'énergie accumulée par la larve peut être distribuée en deux parts : l'énergie individuelle première et ce que l'on pourrait appeler l'énergie seconde, représentée chez la femelle par du deutoplasme et du travail, chez le mâle par les caractères sexuels secondaires.

Cette conclusion est-elle applicable à toute la zoologie, comme le fait soupçonner l'étroite ressemblance dans l'évolution des caractères sexuels secondaires chez des animaux aussi éloignés que les Ruminants et les Longicornes? S'agit-il d'une loi générale? C'est ce que nous allons examiner.

Des Insectes qui ont toujours fortement intrigué les naturalistes sont les Lamellicornes, gros Coléoptères offrant souvent des protubérances bizarres de la tête et du corselet, toujours moins développées chez la femelle que chez le mâle. Notre Scarabée rhinocéros, qui vit dans la tannée des serres, doit son nom à cette particularité. Darwin a considéré les appendices de ces Insectes

comme étant des ornements destinés à plaire à la femelle et accrus par la sélection sexuelle. Wallace leur trouve une utilité : ils rendraient leurs propriétaires difficilement comestibles pour les insectivores (1) ; il est d'ailleurs prouvé que dans certains cas ils peuvent occasionner de sérieuses blessures (2).

L'auteur de l'*Origine des Espèces* eut l'occasion de voir la riche collection de Lamellicornes du célèbre naturaliste H.-W. Bates, collection qui était classée d'après la méthode de Lacordaire. Rien d'étonnant à ce que cet arrangement purement artificiel, où les groupes sans cornes alternent très irrégulièrement avec les groupes dont les mâles sont armés d'appendices, l'ait induit en erreur et lui ait fait croire à une origine multiple de ces organes sexuels secondaires. En étudiant la magnifique collection du Dr Candèze, conservée au Musée de Bruxelles, et en cherchant à découvrir la véritable classification des Lamellicornes, je me suis aperçu que là où Darwin ne pouvait voir que fantaisie, régnait au contraire une unité parfaite. Si chez des espèces même voisines les cornes diffèrent parfois d'aspect, elles ne diffèrent que de grandeur selon les individus d'une même espèce : il y a souvent des mâles *major* et des mâles *minor*, comme il y a de grandes et de petites femelles. Le développement des cornes est aussi proportionnel à la taille des espèces. Ensuite, l'ensemble de

---

(1) A.-R. Wallace, *Natural Selection and Tropical Nature*. London, 1895, p. 372.

(2) F. Ohaus rapporte qu'un mâle d'*Enema Pan* Fab. l'a blessé jusqu'au sang en lui pinçant le doigt entre la corne céphalique et l'échancrure de la corne médiane du corselet (*Bericht über eine entomologische Reise nach Centralbrasilien* [Stett. Entomol. Zeit., 1900, p. 214].)

l'appareil cornifère de tous ces Insectes, quelque varié qu'il soit en apparence, peut être ramené à un même type : il y a en avant du corps une concavité qui entame la tête et la partie antérieure du corselet; cette dépression porte sur ses bords quatre cornes, une sur la tête, une au milieu et une de chaque côté du corselet. La grandeur variable des quatre cornes, l'hypertrophie des unes aux dépens des autres qui disparaissent, ou leur bifurcation, amènent toutes les combinaisons imaginables. Enfin, cet organe spécial, cette corbeille à bords crénelés, est de principe chez les Lamellicornes des deux sexes, qui en ont hérité de l'ancêtre du groupe; les cornes sont très peu développées chez la femelle, et elles disparaissent rapidement avec la corbeille elle-même dans l'évolution, tandis que chez le mâle les cornes ont à l'origine un grand développement, mais elles ont également disparu dans la suite, remplacées par un caractère sexuel secondaire plus utile. Dans les mâles de la famille des Lucanidés, les cornes ont fait place à de grandes mandibules, et chez quelques Lucanidés supérieurs, à ces mandibules ont été substituées des antennes plus développées, absolument comme chez les Longicornes; dans les mâles de la famille des Scarabéidés, les cornes ont été remplacées par des caractères assez variés, notamment par un allongement des lamelles antennaires, comme c'est le cas pour tous les Scarabéidés de la tribu du Hanneton (1).

---

(1) Aug. Lameere, *Notes pour la classification des Coléoptères.* (Ann. de la Soc. entomol. de Belgique, 1900, p. 355.) — *Nouvelles notes pour la classification des Coléoptères.* (Ibid., 1903, p. 155.)

Je publierai un travail d'ensemble sur l'évolution des Lamellicornes.

Il s'agit de découvrir l'usage de cette corbeille crénelée que les ancêtres des Lamellicornes leur ont léguée, et qui ne sert plus aujourd'hui qu'à quelques femelles qui fouillent la vermoulure des arbres pour aller pondre. Un appareil absolument du même genre existe chez d'autres Coléoptères de différentes familles, qui creusent le bois pourri (1), ou qui font des tunnels sous les écorces pour assurer le sort de leurs larves (2). La corbeille, dont les bords offrent de petites dents, sert à recueillir la sciure et à l'expulser des galeries; elle peut se trouver dans les deux sexes, et alors le mâle, comme la femelle, prend part au travail nécessité par la reproduction (3).

Nous devons donc admettre que les Lamellicornes ont hérité d'un organe qui était fonctionnel chez leurs ancêtres des deux sexes; leurs mœurs ont été modifiées, et cet organe est devenu inutile. Le mâle a cessé de s'occuper de l'avenir des jeunes; toute l'énergie qu'il dépensait antérieurement à ce travail s'est trouvée chez lui sans

---

(1) Les *Bostrychidés*, dont certains types offrent en avant du corps la même corbeille crénelée que celle des Lamellicornes.

(2) Les *Scotytidés* des tribus des *Tomicinae* et des *Platypinae*, qui portent une corbeille crénelée au bout des élytres.

(3) Eichhoff (*Die europaïschen Borkenkäfer*. Berlin, 1881) nous apprend que chez certains *Tomicus*, par exemple *T. bidentatus* Fab., le mâle creuse sous l'écorce du Pin une chambre nuptiale où pénètrent plusieurs femelles. Celles-ci, après avoir été fécondées, font chacune une galerie, à droite et à gauche de laquelle elles déposeront leurs œufs. Les galeries sont nettoyées par le mâle, qui aide les femelles à en expulser la sciure. M. I. Schevryeff, secrétaire de la Société entomologique de Russie, a déclaré à M. Severin, conservateur au Musée de Bruxelles, qui me l'a répété, avoir constaté positivement que la corbeille terminale des élytres chez les *Tomicus* sert à rassembler la sciure et à la porter hors des galeries.

emploi, et elle s'est portée précisément d'abord sur l'outil désormais sans usage : les dents de la crénelure de la corbeille se sont changées en cornes défensives (1).

L'équivalence d'une structure anatomique et d'un travail mécanique des muscles, que ces considérations semblent révéler, va se manifester clairement chez les

---

(1) Une confirmation de ces conclusions se trouve dans un fait que je viens de constater et qui me paraît donner enfin la clef de la classification des Cérambycidés. On peut se demander ce qui a précédé dans l'histoire des Longicornes les formidables mandibules que les mâles des espèces primitives possèdent en commun avec les mâles de la plupart des Lucanidés. Il existe une forme absolument inférieure de Cérambycidé (*Erichsonia dentifrons* Westw.) dont la tête et le corselet présentent dans les deux sexes, mais surtout chez le mâle, les traces manifestes d'un organe en corbeille crénelée tout à fait analogue à celui qui a précédé dans l'évolution les mandibules des mâles des Lucanidés. Les Longicornes ont donc aussi changé de mœurs; comme chez les Lamellicornes, les mâles et les femelles devaient jadis creuser une substance tendre qu'ils n'ont plus à leur disposition aujourd'hui. Quelle pouvait être la sciure que devait recueillir leur corbeille, si ce n'est celle du tronc des Cycadées disparues pour la plupart avec l'ère secondaire?

L'abandon par le mâle des Longicornes et des Lamellicornes de toute activité paternelle explique comment dans ces deux groupes le dimorphisme sexuel est plus prononcé que chez les autres Coléoptères, si l'on en excepte précisément certaines familles de Xylophages (Anthribidés et Brenthidés par exemple) qui ont probablement au début de leur histoire commencé à se nourrir aussi de la moelle des Cycadées.

En outre, le contraste existant entre les femelles des Lamellicornes qui se livrent pour la plupart à un labeur considérable pour aller pondre leurs œufs dans la terre, et les femelles des Longicornes dont la tâche est plutôt légère, nous montre comment il se fait que chez les Longicornes femelles les antennes ont pu s'allonger, tandis que chez les Lamellicornes aucune part de l'énergie seconde n'a pu en général dans l'évolution être détournée pour rapprocher les caractères de la femelle de ceux du mâle.

Lamellicornes dont les deux sexes sont à peu près identiques (1).

Les Scarabéidés mâles et femelles du groupe des Coprophages se nourrissent des excréments des herbivores, aussi bien à l'état parfait qu'à l'état de larve; la femelle ne pond pas ses œufs en une fois, mais à des intervalles plus ou moins éloignés; la larve ne fournit donc pas à l'adulte toute l'énergie qu'il aura à dépenser.

Chez notre *Geotrypes stercorarius*, qui enterre les crottins dans les champs, le mâle et la femelle ne diffèrent guère entre eux, ils sont dépourvus d'appendices, la nymphe du mâle montrant cependant un vestige de corne. Or, dans cette espèce, les deux sexes travaillent pour assurer le sort des larves, le mâle étant même plus actif que la femelle (2).

Chez le *Copris hispanus*, dont les mœurs, comme celles des Géotrupes, ont été admirablement étudiées par Fabre (3), la femelle possède sur la tête une corne qui

---

(1) W. von Reichenau (*Ueber den Ursprung der secundären männlichen Geschlechtscharactere*, *insbesondere bei den Blatthornkäfern* [Kosmos, 1881, X, p. 172]) a admis que les femelles des Lamellicornes offrent en principe un organe destiné à leur faciliter la ponte; elles auraient transmis cet organe à leur mâle, et comme ce dernier n'en avait pas l'emploi, toute l'énergie attachée à l'existence de l'outil s'est trouvée sans usage; cette énergie se serait portée sur les dents de la corbeille, qui auraient évolué en cornes inutiles. Cette théorie a une certaine analogie avec la mienne, mais elle est entachée d'un vice radical : nous n'avons aucun exemple d'un organe transmis inutilement par la femelle au mâle, et nous n'avons pas d'exemple d'un organe qui se développerait parce qu'il serait inutile.

(2) J.-H. Fabre, *Souvenirs entomologiques*, 5e sér., chap. X à XII. Paris, 1897.

(3) Id., *Ibid.*, 5e sér., chap. VII et VIII.

n'est pas beaucoup moins longue que celle du mâle; ce dernier ne s'inquiète guère de sa progéniture; quant à la femelle, la tâche qu'elle a à accomplir est moindre, comparée à celle du Géotrupe, et le nombre des œufs qu'elle fournit à chaque ponte est réduit à quatre (1).

D'après la théorie que je cherche à soutenir, une tendance à l'égalité des sexes pourra se produire de diverses façons. La femelle acquerra partiellement les caractères du mâle par diminution de sa fécondité ou par simplification des soins maternels; le mâle perdra sa supériorité en collaborant au labeur de la femelle. Nous venons d'en voir des exemples frappants.

D'autre part, si une augmentation d'énergie, produite par l'évolution, se portait sur un caractère sexuel secondaire très utile, celui-ci serait renforcé chez le mâle et

---

(1) Le *Scarabaeus sacer* a les mêmes habitudes que le *Copris hispanus,* sauf que la femelle ne pond qu'un seul œuf (J.-H. Fabre, *Souvenirs entomologiques,* 5e sér., chap. I à V. Paris, 1897). Les deux sexes sont à peu près semblables, mais ils n'ont pas de cornes. Ces appendices seraient très gênants chez ces Coprophages supérieurs qui offrent des mœurs nouvelles : le mâle et la femelle roulent en effet des boules d'excréments, et ils ont acquis dans ce but un organe céphalique qui leur est des plus utiles, le chaperon dont les dents avaient été comparées aux rayons du soleil par les anciens Égyptiens.

D'autre part, les *Passalus*, dont les mœurs très curieuses nous ont été révélées récemment par F. Ohaus (*Bericht über eine entomologische Reise nach Centralbrasilien* [Stett. entomol. Zeit., 1900, p. 164]), offrent une égalité des sexes presque complète, tant au point de vue de la structure que des habitudes. Le mâle et la femelle fouillent en tous sens le tronc vermoulu des arbres pourris, et ils mâchent le bois pour l'alimentation des larves. Ces Lucanidés ont perdu la corbeille crénelée ancestrale dont la corne céphalique subsiste seule dans les deux sexes, et cette corne, très courte, se combine avec des dents du chaperon et des mandibules pour constituer un appareil fouisseur d'un nouveau genre.

il apparaîtrait chez la femelle; c'est le cas pour les cornes des Ruminants (1).

Un rapprochement entre les sexes serait encore possible si une différence s'établissait dans l'alimentation : l'énergie seconde du mâle serait supprimée s'il ne recevait qu'une ration égale à celle qui est suffisante pour produire l'énergie première de la femelle. La nature s'est chargée de nous faire cette expérience : nous allons la trouver réalisée dans les mœurs de certains Hyménoptères, et ces Insectes vont nous permettre, en même temps, d'étudier l'évolution d'un autre ornement sexuel, la coloration.

Il y a un contraste frappant entre les Diptères, mouches à deux ailes, dont la femelle ne prend en général aucun souci de l'avenir de ses larves, et les Hyménoptères, mouches à quatre ailes, où le labeur maternel arrive à son apogée parmi les Insectes. Darwin constate que chez les premiers le dimorphisme sexuel est presque nul, qu'il est, par contre, très souvent prononcé chez les autres.

En revisant la classification des Hyménoptères pour mon *Manuel de la Faune de Belgique*, j'ai constaté qu'il y

---

(1) Il est à remarquer en effet que chez le Renne, les bois du mâle sont absolument disproportionnés par rapport à la taille de l'animal, si on les compare à ceux des autres Cervidés. Comme nous l'apprend Darwin, ces bois apparaissent de bonne heure dans les deux sexes, alors que leur développement est tardif chez les Cervidés où ils n'existent que chez le mâle. Il doit y avoir une part de l'énergie première qui vient s'ajouter à l'énergie seconde pour produire les bois chez le mâle, et c'est cette part qui doit produire seule les bois de la femelle. Cette hypothèse est confirmée par le fait que la castration ne supprime pas les cornes chez le bœuf.

a une différence originelle entre les deux sexes chez ces Insectes, et que cette différence s'accentue avec la taille; elle réside dans la coloration.

Une loi bien curieuse m'a été révélée par l'étude de l'évolution des couleurs chez les Hyménoptères : quels que soient le genre, la tribu ou la famille que l'on considère, cette évolution est la même; elle va graduellement et régulièrement par des stades presque identiques, d'une teinte uniforme peu voyante, vers une bariolure très vive ou vers un éclat métallique très prononcé (1); il en résulte que toutes les espèces supérieures des divers groupes ressemblent ou à nos Guêpes sociales, ou à ces merveilleuses Chrysides qui ont reçu le nom de Guêpes dorées (2).

Dans cette évolution, le mâle est toujours en avance sur la femelle, celle-ci rappelant souvent le mâle d'une espèce inférieure, tandis que son mâle a les teintes de la femelle d'une espèce supérieure (3). Lorsque la femelle rattrape le mâle dans cette course vers une pigmentation plus riche, le mâle la dépasse en acquérant un nouveau caractère sexuel secondaire, qui consiste ordinairement en un perfectionnement des antennes.

A cette loi générale, il y a une exception extrêmement apparente : chez les Hyménoptères du groupe des Fouis-

---

(1) L'Insecte prend souvent aussi une teinte d'un noir brillant qui tranche sur la blancheur des ailes.

(2) On pourra déjà se convaincre en partie de cette loi en consultant le tome III de mon *Manuel de la Faune de Belgique,* actuellement sous presse. Je compte publier ultérieurement un travail sur l'évolution des Hyménoptères, Insectes que j'ai pu étudier grâce aux collections de Wesmael, du Dr Tosquinet et de M. le Dr Jacobs.

(3) Le genre *Dolerus* Jur. est particulièrement curieux à cet égard.

seurs, le mâle est ordinairement tout à fait semblable l'autre sexe, et il est fréquemment beaucoup plus petit. Les femelles creusent des terriers où elles accumulent, sous forme de chenilles ou d'autres insectes paralysés par le venin de leur aiguillon, tous les aliments nécessaires au développement de leur progéniture. Elles se livrent donc à un travail inouï : en conséquence, nous devrions nous attendre à ce que leurs mâles soient extrêmement chargés de caractères sexuels secondaires. La clef de l'énigme nous est fournie par les observations de Fabre (1). La femelle met à la disposition de chaque larve une quantité de nourriture bien déterminée ; elle fait des amas de deux sortes, les uns étant à peu près doubles des autres. Les œufs pondus sur les gros amas donnent des femelles, les petits amas suffisent, au contraire, au développement des mâles. Fabre a augmenté la ration des larves pour lesquelles la femelle avait été parcimonieuse : il a obtenu de cette manière, non des femelles, mais des mâles d'une plus belle prestance. Le sexe est donc déterminé dans l'œuf, la femelle est avertie de la nature de l'œuf qu'elle va pondre, l'économie qu'elle fait de ses forces, en fournissant au mâle le strict nécessaire, est plus utile à l'espèce, non seulement que des caractères sexuels secondaires, mais même que l'égalité.

Cet admirable exemple nous permet d'interpréter par une différence d'appétit les cas assez nombreux dans bien des catégories d'Arthropodes et de Vertébrés où le mâle est inférieur comme taille à la femelle; en examinant ces cas avec attention, on se rendra compte qu'ils ont tou-

---

(1) J.-H. Fabre, *Souvenirs entomologiques*, 3e sér., chap. XVI. Paris, 1890.

jours comme corollaire une difficulté spéciale dans le mode d'alimentation : qu'il nous suffise de citer l'Épéire, araignée dont la vie laborieuse est une telle détresse que le pauvre petit mâle est utilement dévoré par la prévoyante femelle.

Darwin a cru que la coloration plus brillante des mâles de certains Hyménoptères était faite pour plaire à la femelle et était due à la sélection sexuelle; il a interprété de la même manière l'origine de la parure admirable des Papillons.

Chez les Lépidoptères, il y a, comme chez les Hyménoptères, un dimorphisme sexuel initial. Pour les Papillons de nuit, la différence s'est portée en général sur les antennes (1), pour les Rhopalocères, qui vivent au grand jour, elle consiste en une coloration plus brillante des ailes du mâle. L'évolution des Lépidoptères diurnes nous révèle la même loi que pour les Hyménoptères; les types primitifs ont une coloration plutôt terne, les types perfectionnés ont des ailes à teintes très tranchées et parfois métalliques; le mâle précède la femelle dans l'évolution; dans tous les groupes supérieurs, la femelle est aussi brillante que le mâle, et l'égalité des sexes tend à s'établir (2).

---

(1) Certains Lépidoptères nocturnes nous offrent le phénomène intéressant de la transformation d'une partie de l'énergie première en énergie seconde chez la femelle, les antennes et les ailes dégénérant, et la fécondité devenant plus grande.

(2) On pourra avoir quelque idée de la généalogie des Lépidoptères en consultant l'ouvrage de Meyrick, *Handbook of British Lepidoptera*. London, 1895, qui ne traite malheureusement que des espèces de la Grande-Bretagne. Mes études n'ont pu guère porter que sur les formes d'Europe, le Musée de Bruxelles ne possédant pas de collection convenable de Papillons. Il y a une œuvre très étendue à faire dans cette voie.

Nous possédons une preuve expérimentale de la réalité de ce que je viens d'avancer en me basant sur l'étude de la généalogie des Papillons. Standfuss (1) est parvenu, en chauffant ou en refroidissant les chrysalides, à modifier considérablement les couleurs des ailes des Lépidoptères. Par la chaleur, il donne aux ailes des teintes plus vives et plus tranchées, et il amène la femelle à avoir le coloris du mâle; par le froid, on obtient l'effet opposé. La communication d'énergie à la chrysalide fait progresser l'Insecte dans le sens de l'évolution, et elle donne à la femelle cette exubérance qui se traduit par la belle coloration du mâle.

Quelle peut être l'utilité de la splendeur des Papillons, des bariolures et des teintes dorées des Hyménoptères?

Lorsque l'on se promène dans les dunes de notre pays, on fait souvent s'envoler une Sauterelle dont les ailes inférieures sont d'un beau bleu (2); cet Orthoptère est presque invisible, grâce à sa coloration mêlée de gris et brun, tant qu'il est sur le sol; cherchez à le saisir, il saute et vous le suivez un moment comme une tache obscure; tout à coup il déploie ses ailes dont le bleu vous apparaît soudain, et vous ne voyez plus l'Insecte. Votre œil a été ébloui pendant quelques secondes par cette vision instantanée d'une coloration très vive, et il

---

(1) M. Standfuss, *Handbuch der paläarktischen Gross-Schmetterlingen für Forscher und Sammler*. Jena, 1896.

Id., *Experimentelle Zoologische Studien mit Lepidopteren*. (Denkschriften Schweiz. Naturforsch. Gesellsch., XXXVI, 1898.)

Un résumé des expériences de Standfuss se trouve dans : Aug. Lameere, *Le transformisme expérimental*. (Revue de l'Université de Bruxelles, V, 1900.)

(2) C'est un Acridiidé, *Oedipoda coerulescens* Linn.

a perdu la trace de la tache obscure. L'Orthoptère est sauvé (1).

Il ne faut pas être pêcheur à la ligne pour avoir remarqué comment l'on perd de vue les poissons que l'on aperçoit d'ailleurs difficilement dans un ruisseau : l'animal est-il inquiété, il fait un brusque mouvement et découvre son flanc argenté qui jette comme un éclair; encore une fois l'œil est ébloui, et le poisson, bien qu'il ne soit pas loin, est devenu invisible.

Les Papillons comme les Hyménoptères ne volent qu'au soleil; sont-ils poursuivis, ils font un écart soudain, l'œil est hypnotisé par le miroitement du métal ou par l'apparition d'une couleur inattendue, et l'entomologiste ou l'oiseau est mystifié (2).

La beauté des Papillons est faite pour éblouir, non la femelle, mais l'ennemi (3).

La signification que je donne aux différences sexuelles,

---

(1) Cette coloration très tranchée des ailes inférieures est très fréquente chez les Orthoptères et chez les Hémiptères. Sapojnikov (*Biologisches Centralblatt,* XXIV, 1904, p. 514) vient d'appeler l'attention sur une protection du même genre offerte par les Noctuelles, qui, comme les *Catocala,* volent parfois en plein jour. Ces Lépidoptères montrent sur les ailes inférieures des bandes d'une teinte très vive, et chacun a pu constater combien il est difficile de les suivre des yeux quand ils prennent leur essor.

(2) Beaucoup de naturalistes se sont figuré que les Oiseaux dédaignaient les Papillons, et ils ont cru que ceux-ci ne sont pas comestibles. Le beau travail de Marshall et Poulton (*The Bionomics of South African Insects* [Trans. Ent. Soc. London, 1902, p. 287]) réduit cette opinion à néant.

(3) Je n'ai évidemment pas la prétention d'expliquer par cette formule simpliste tous les phénomènes de coloration que nous offrent les Lépidoptères.

la vie plus sédentaire de la femelle, le rôle disséminateur du mâle essentiellement vagabond, rendent compte du dimorphisme de la parure.

On finira, vraisemblablement, par découvrir une utilité à tous les caractères sexuels secondaires (1); au fond, leur origine est due au fait physiologique de l'exubérance du mâle; la forme variée qu'ils revêtent est le résultat du phénomène éthologique de la sélection naturelle.

Si la théorie que j'avance est l'expression de la vérité, nous devons nous attendre à trouver des différences entre les sexes chez tous les Animaux dont les femelles pondent des œufs volumineux ou donnent beaucoup d'elles-mêmes dans l'acte de la reproduction. C'est précisément ce que l'on constate : il n'y a d'œufs à vitellus abondant que chez les Arthropodes, chez certains Mollusques et chez les Vertébrés, c'est-à-dire dans les groupes où le dimorphisme sexuel est la règle. La plus grande intensité de la vie du mâle ne se traduit pas, cependant, chez tous ces Animaux par des caractères sexuels secondaires ; la compensation est établie, au moins partiellement, chez les Myriopodes, chez les Crustacés, chez les Arachnides, chez les Mollusques, chez les Sélaciens, chez les Reptiles, chez les Mammifères, par des appareils d'accouplement, donc par des organes

---

(1) Le mâle est un être pléthorique comparable jusqu'à un certain point à un goutteux; rien ne s'oppose *a priori* à ce que l'excès de substance qu'il renferme serve à la constitution de particularités inutiles, qui subsisteraient parce qu'elles ne sont point nuisibles. Il est cependant peu probable qu'il en soit ainsi, vu l'âpreté de la lutte pour l'existence. Un grand nombre de caractères sexuels secondaires offerts par les Insectes nous paraissent baroques et sans emploi, mais j'estime que c'est surtout à cause de notre ignorance.

sexuels dits primaires, car ils sont indispensables à la conservation de l'espèce.

Beaucoup de Vertébrés nous offrent le phénomène intéressant d'une périodicité dans l'apparition des caractères sexuels secondaires : ils revêtent ce que l'on a appelé leur parure de noces, ils dansent, ils chantent. Toute l'exubérance supplémentaire latente du mâle éclate exactement au moment où la femelle va faire son grand effort périodique pour la reproduction. Ce fait, comme les conséquences bien connues de la castration, ne vient-il pas corroborer, d'une façon démonstrative, l'équivalence de deux énergies liées à l'existence des produits sexuels?

Je voudrais avoir le temps de vous montrer quelle est l'utilité des caractères sexuels secondaires chez les différents Vertébrés; j'en ai dit assez pour que vous puissiez comprendre que la sélection sexuelle n'est absolument pour rien dans les particularités que nous offrent les Mammifères, où le rapetissement de l'œuf est compensé par le viviparisme et par la lactation (1) ; je dois me borner à considérer les phénomènes suggestifs qui nous sont révélés par ces Papillons d'essence supérieure, les Oiseaux.

Ceux qui ont eu le courage de s'assimiler les immenses travaux consacrés en ces derniers temps à la recherche de la généalogie des Oiseaux, savent que les classifications qui se trouvent encore dans la plupart des manuels (2) et

---

(1) Il est presque certain que le mâle allaitait comme la femelle chez les Mammifères primitifs.

(2) Je ne connais que le *Compendio di Zoologia* (Bologne, 1899), par C. Emery, qui donne la nouvelle classification des Oiseaux.

qui ont servi de guide jusqu'ici dans l'arrangement des musées (1) ne donnent aucune idée de l'évolution de ces Vertébrés. Bien que les résultats auxquels sont arrivés les anatomistes puissent encore être l'objet de certaines critiques et demandent parfois à être complétés, la phylogénie des Oiseaux peut être considérée maintenant comme fixée dans ses grandes lignes. Elle vient confirmer absolument ce que nous ont appris les Insectes (2).

Chez l'Oiseau, deux causes contribuent à détruire l'égalité primitive des sexes : l'énormité de l'œuf et le phénomène d'incubation. On ne s'est pas assez rendu compte de l'importance de l'énergie que doit dépenser la femelle pour communiquer aux œufs la chaleur nécessaire à leur développement. Nous avons toutes les raisons de croire que chez les Oiseaux primitifs les deux sexes couvaient, et l'exemple des Tinamous (3) nous montre que le mâle ne différait alors que peu de la femelle. Plus tard, la femelle seule, en général, a continué à couver, et le mâle s'est constitué le protecteur et le pourvoyeur

---

(1) Ce n'est qu'au Musée de Dresde que j'ai vu les Oiseaux classés d'après les nouveaux principes. La salle où sont rassemblés les types les plus importants de ces Vertébrés renferme un arbre généalogique destiné à guider les visiteurs.

(2) Consulter, pour la généalogie des Oiseaux : Gadow und Selenka (*Vögel*, in Bronn's Klassen und Ordnungen des Thier-Reichs. Leipzig und Heidelberg, 1891-1893).

J'ai exposé mes idées sur l'évolution des Oiseaux pendant l'hiver de 1903-1904, au cours public de la ville de Bruxelles. J'aurai à publier un mémoire sur ce sujet.

(3) Je considère l'ordre des Crypturiformes, parmi les Archéognathes, comme représentant le mieux le type primitif des Néornithes dans la nature actuelle. Tous les Ratites me paraissent avoir perdu le bréchet du sternum, et ce sont, par conséquent, des formes cœnogénétiques.

de la communauté. Mais la division du travail s'est produite quelquefois en sens inverse : la femelle a laissé au mâle le soin de l'incubation. Qu'arrive-t-il alors? La femelle devient le beau sexe, elle a une taille plus forte, elle revêt une parure plus riche et même elle acquiert des instincts belliqueux et prend des attitudes guerrières (1).

Lorsque la femelle a continué seule à couver, la première forme de dimorphisme sexuel qui s'est montrée est une différence dans le plumage : pour tous les groupes, c'est dans les types les plus anciens que nous trouvons les beaux mâles (2), et c'est dans les ordres primitifs que nous rencontrons les ornements les plus somptueux (3). Dans l'évolution, il s'est produit fréquemment une convergence de sexes, comme chez les Insectes. La femelle nichant, non plus à découvert, mais dans un trou, acquiert la belle coloration du mâle, tout en diminuant de fécondité, comme c'est le cas pour les Perroquets, qui ne pondent plus que deux œufs par an;

---

(1) Cette inversion des caractères sexuels secondaires chez les Oiseaux dont le mâle couve seul est très marquée lorsque la taille est petite (*Turnix taigoor, Rhynchaea australis, Phalaropus fulicarius*); elle l'est moins chez les Casoars et les Nandous; elle n'existe pas du tout chez l'Autruche, dont le mâle est quand même le beau sexe. Mais cette exception à une exception confirme absolument la règle : combien légère est la tâche de l'Autruche mâle au grand soleil du Sahara, et quels frais doit faire la femelle pour pondre les œufs les plus volumineux de la nature actuelle !

(2) *Charadriidae* et *Laridae* parmi les Charadriiformes; *Menuridae* et *Paradiseidae* parmi les Chanteurs; *Mergus, Fuligula* parmi les Ansériformes; *Circus* parmi les Falconiformes, etc., etc.

(3) Galliformes, Laro-limicoles, Colymbiformes, Podicipitiformes, Ansériformes.

ou bien le mâle perd sa belle parure et devient même plus petit que la femelle, ainsi qu'on le voit chez les Aigles, dont le ravitaillement est un problème compliqué. Mais la sélection naturelle a maintenu parfois aussi la différence entre les sexes : la beauté du mâle a fait place chez les Chanteurs à un autre caractère sexuel secondaire, une complication des muscles de la trachée qui permet un exercice prolongé de la voix.

L'évolution des ornements sexuels des Oiseaux rappelle complètement ce que nous avons trouvé chez les Insectes et les Ruminants. Voyons si nous pouvons aussi découvrir une utilité à ces caractères.

Chez l'Oiseau, comme chez le Papillon, il faut considérer une livrée de repos et une livrée de vol (1); il faut aussi ne pas perdre de vue que le mâle est le sexe vagabond et la femelle le sexe sédentaire. La livrée de repos, pour l'un et l'autre sexe, sera en harmonie avec le milieu ambiant, de manière à rendre l'animal invisible dans les circonstances où sa vie est le plus exposée : cette livrée pourra, ainsi que l'indique Wallace, différer chez le mâle, qui va à la recherche de la nourriture, et chez la femelle, qui reste sur son nid, lorsque le nid est à découvert; le nid est-il caché, la femelle rejoint partiellement le mâle dans l'évolution. Il est à remarquer que cette livrée de repos n'exclut nullement une parure brillante, principalement sous les Tropiques, où beaucoup d'Oiseaux, très voyants dans nos musées, sont absolument invisibles dans leur habitat ordinaire.

Pour la livrée de vol, nous constatons identiquement

---

(1) J.-T. Oudemans, *Étude sur la position de repos chez les Lépidoptères*. (Verhandl. Acad. Wetensch. Amsterdam, sect. 2, X, 1903.)

ce que nous offrent les Papillons : lorsqu'il ouvre les ailes, l'Oiseau montre souvent des bandes de coloration très tranchée, parfois métalliques, et nous pouvons admettre que l'usage de ces teintes éclatantes est d'éblouir l'ennemi, comme chez les Papillons. Nous sommes d'autant plus disposé à accepter cette explication que les Colibris et les Oiseaux-Mouches sont, comme les Guêpes dorées, des morceaux de métal qui, par leur miroitement au soleil, déconcertent l'œil le plus exercé. Le mâle a consacré son exubérance vitale à l'acquisition de ces utiles caractères, et la femelle l'a suivi dans l'évolution.

Que faut-il penser maintenant des plumes ornementales si développées chez certains mâles des Gallinacés ou des Oiseaux de paradis?

Il y en a, comme celles de la queue des Faisans, qui permettent un vol plus soutenu ; il en est qui contribuent probablement à amener la confusion de l'Oiseau avec le milieu ambiant et à le rendre invisible (1) ; d'autres pourraient peut-être s'expliquer par analogie avec des faits qui sont du domaine de l'entomologie.

Au Sahara, j'aperçus un jour un Insecte de la couleur

---

(1) N'en serait-il pas ainsi pour les splendides dessins de l'Argus, qui vit dans des forêts tellement sombres que sa femelle ne pourrait pas en apprécier la beauté? Que ceux qui croiraient à l'existence d'un sentiment esthétique chez les Oiseaux, sentiment esthétique qui devrait être supérieur à celui des Mammifères, réfléchissent qu'il y a des chenilles offrant des dessins tout aussi beaux que ceux des plumes de l'Argus, et que la sélection naturelle a fait bien d'autres merveilles dans les adaptations protectrices de beaucoup d'Insectes qui ressemblent à des lichens, à des feuilles, à des rameaux. N'oublions pas non plus les fleurs, dont l'existence n'est certainement pas due à un choix déterminé par le sens du beau chez les Insectes.

du sable; j'approchai la main, mais je la retirai effrayé, et l'animal put s'enfuir. Cet Insecte avait levé tout à coup ses quatre ailes bariolées de rouge et de bleu, et la brusquerie du mouvement m'avait fait peur (1).

Le Paon fait la roue, non seulement devant sa femelle, mais devant l'homme, devant tous les animaux de la basse-cour, même devant les porcs. Est-ce pour que l'on admire les merveilleux dessins des plumes de sa queue, ou n'est-ce pas plutôt pour épouvanter un ennemi? Se figure-t-on l'attitude d'un animal qui voit brusquement se dresser devant lui cet éventail aux prunelles étincelantes? Va-t-il être saisi d'admiration ou va-t-il reculer d'effroi? Ne devons-nous pas admettre que le Paon fait la roue comme le Dindon se met en colère, comme tout Gallinacé mâle est prêt à combattre, non pas tellement contre ses rivaux que contre un carnassier qui deviendrait menaçant?

Si la queue du Paon est un épouvantail, pourquoi cet Oiseau fait-il la roue devant sa femelle? Pour la raison qui fait que le Lucane Cerf-volant brandit ses immenses mandibules devant sa femelle et la saisit avec ses appendices, comme il ferait d'un rival ou d'un ennemi, pour la raison qui fait que le Papillon bat sa femelle au moyen des ailes, comme il battrait un adversaire, parce que chez tous les Animaux, le mâle prend une attitude guerrière vis-à-vis de la femelle. C'est l'éternelle allégorie de Mars et de Vénus.

Le mâle a à faire une conquête; la femelle ne le choisit

---

(1) Il s'agissait d'un Dictyoptère de la famille des Mantidés, *Eremiophila numida* Sauss.

pas (1), elle le subit, et combien l'attaque est parfois brutale! Le mâle doit vaincre ce que Gross (2) a dénommé la pruderie instinctive de la femelle : l'heure du berger sonnera infailliblement, mais elle sonnera seulement à un moment précis de la maturité des germes. Le mâle est prêt le premier, son émotion est extrême, comme lorsqu'il se trouve devant un adversaire, et il n'a qu'un moyen d'exprimer son émotion : il tremble d'amour comme il tremblerait de colère. L'Oiseau qui fait sa cour hérisse toutes ses plumes, trépigne, crie, prend l'attitude de la poule qui défend ses petits. Il agit sans doute ainsi sur le système nerveux de la femelle, non pas pour être préféré à un autre, comme on se l'imagine trop souvent, car il est déjà fiancé alors, mais pour contribuer à amener les modifications internes qui déterminent enfin le consentement de l'épouse. C'est avec des yeux de naturaliste et non de poète que nous devons envisager les mœurs des Oiseaux (3).

---

(1) Si la sélection naturelle avait développé chez la femelle l'instinct de ne pas se livrer au premier mâle venu, la femelle risquerait de ne pas être fécondée ou de ne pas être fécondée en temps utile, ce qui serait contraire à l'intérêt de l'espèce. Des éleveurs auraient constaté dans certains cas, d'ailleurs rares, un choix exercé par la femelle; celle-ci aurait choisi le mâle le plus fort et non le plus beau. Reste à savoir si ces observateurs n'ont pas été trompés : est-ce que la femelle choisissait, ou bien n'est-ce pas plutôt le mâle le plus fort qui s'emparait de la femelle sans protestation des autres?

(2) K. Groos, *Die Spiele der Thiere,* Chap. IV. Jena, 1896.

(3) L'organe copulateur s'est perdu dans l'évolution chez les Oiseaux. C'est peut-être de là que viennent toutes les simagrées que fait le mâle. Aucun autre animal ne se met autant en frais pour courtiser la femelle.

L'homme, en prêtant ses sentiments aux animaux, a tellement dénaturé certains faits que l'on voit généralement dans le chant des Oiseaux mâles un moyen de charmer leurs femelles. Certes, le bruit peut servir au rapprochement des sexes (1), mais un entomologiste pensera que l'insupportable grésillonnement des Cigales, des Sauterelles, des Grillons et des Criquets, qui se continue en présence des femelles pendant des heures et même après l'accouplement, doit avoir une autre utilité; il dira que le coassement des Grenouilles doit être un phénomène de même nature, et il se verra forcé d'y assimiler encore le chant des Oiseaux, qui n'est quelquefois qu'une cacophonie baroque et assourdissante; il songera qu'une Cigale tambourine lorsqu'on la saisit et que tout animal qui peut donner de la voix crie, dans un but évident d'intimidation, lorsqu'un ennemi s'en empare. Est-ce la joie de vivre que chantent les Sauterelles (2), les Grenouilles et les Oiseaux, ou bien leur concert ne serait-il qu'un épouvantail? N'y aurait-il pas des ennemis de leur progéniture, qui, comme les chiens, détesteraient la musique, et ne feraient-ils pas comme les sauvages qui écartent les fauves en jouant du tam-tam?

L'évolution des Oiseaux nous enseigne que le chant a remplacé, chez des formes supérieures arboricoles, les armes des Gallinacés, types primitifs attachés au sol. Entre ces deux genres de caractères sexuels secondaires,

---

(1) Darwin lui-même considère l'évolution des caractères qui servent au rapprochement des sexes comme n'étant pas due à l'action de la sélection sexuelle.

(2) C'est l'opinion de J.-H. Fabre (*Souvenirs entomologiques*, 6e sér., chap. XI. Paris, s. d.).

il y a la plus grande analogie; le mâle emploie la musique, comme le Coq se sert de ses ergots pour triompher de ses rivaux; il les défie, et la victoire reste à celui qui peut chanter le plus longtemps, par conséquent au plus fort. Nous devons admettre que les ergots du Coq, comme les cornes des Ruminants, ont comme fonction essentielle d'armer l'animal contre les carnassiers, et comme fonction accessoire de rendre les duels plus dangereux; le chant est une véritable arme qui doit avoir aussi une fonction principale protectrice et ne servir que secondairement à une lutte courtoise entre les rivaux : il contribue très probablement à écarter des Animaux dont l'oreille doit être délicate et qui ne peuvent être, par conséquent, que des Mammifères.

Le Passereau chante devant sa femelle, comme le Paon fait la roue. Si les cris rauques et désagréables ont été dans l'évolution remplacés par le trille du Rossignol, il ne faut y voir qu'un effet de la sélection naturelle (1); le phénomène ne peut être attribué au choix conscient de la femelle, pas plus que la transformation de la conquête brutale en cour amoureuse, pas plus que l'évolution progressive d'un organe d'accouplement quelconque.

Je termine. Nous avons conclu à l'impossibilité de la

---

(1) L'utilité d'un chant plus mélodieux peut être cherchée dans trois directions : 1° une efficacité plus grande pour écarter les carnassiers; 2° un plaisir pour l'exécutant et aussi pour sa compagne pendant que celle-ci couve; 3° une meilleure excitation de la femelle, favorable à l'espèce. Même en supposant, ce qui est bien improbable, que la femelle choisisse le mâle qui impressionne davantage ses sens, il n'y aurait pas là un phénomène de sélection sexuelle *sensu* Darwin, car le sentiment esthétique y serait complètement étranger.

sélection sexuelle telle que l'a conçue Darwin, et de fait nous ne l'avons rencontrée nulle part; nous avons interrogé les caractères sexuels secondaires les plus importants et les plus variés, dans les groupes les plus divers, et nous leur avons toujours découvert un emploi; il ne semble pas y avoir d'ornements destinés à plaire à la femelle chez les Animaux, il n'y a chez le mâle que des armes sexuelles, armes toujours utiles dans la lutte pour l'existence, servant parfois en même temps à écarter les rivaux ou à produire chez la femelle l'excitation qui vaincra sa résistance.

Les caractères sexuels secondaires sont dans tout le règne animal l'équivalent de la maternité. Nous pouvons les considérer comme une démonstration élégante de la loi universelle de la conservation de l'énergie.

M. le Secrétaire perpétuel proclame de la manière suivante les résultats des concours et des élections :

CONCOURS ANNUEL (1904) ET PRIX MAILLY ET MELSENS.

Des six questions inscrites au programme du concours annuel de la Classe pour 1904, aucune n'a été l'objet d'une réponse.

D'autre part, en cette même année 1904, les concours suivants ont été jugés :

1° La première période pour le Prix Melsens, fondé par sa veuve en faveur de la chimie et de la physique appliquées;

2° La troisième période pour le Prix Mailly, destiné,

par cet académicien, à un Belge ou à un naturalisé qui aurait fait faire quelque progrès à l'astronomie ou qui aurait répandu le goût de cette science.

Un seul travail a été soumis pour le Prix Melsens et deux auteurs ont pris part au concours pour le Prix Mailly.

La Classe n'a pas décerné la récompense proposée pour chacun de ces concours.

ÉLECTIONS.

La Classe a eu le regret de perdre :

1° Dans sa Section des sciences mathématiques et physiques, un de ses associés, le professeur G. Salmon, de Dublin ;

2° Dans sa Section des sciences naturelles, Émile Laurent, correspondant, von Zittel, de Munich, Étienne-Jules Marey et R. Renault, de Paris, associés.

La Classe a élu :

1° Dans sa séance du 4 juin 1904,

SECTION DES SCIENCES MATHÉMATIQUES ET PHYSIQUES

Correspondant : M. Swarts (Frédéric), professeur à l'Université de Gand.

Associé : M. Lenard (Philipp), professeur à l'Université de Kiel.

SECTION DES SCIENCES NATURELLES

Correspondants : MM. Durand (Théophile), directeur du Jardin botanique, à Bruxelles; Lohest (Max), professeur à l'Université de Liége, et Massart (Jean), professeur à l'Université de Bruxelles

Associé : M. von Koenen (Adolphe), professeur à l'Université de Gœttingue.

2° Dans sa séance du 15 décembre 1904, elle a élu *associé* de la même Section M. Hugo de Vries, professeur à l'Université d'Amsterdam.

OUVRAGES PRÉSENTES.

Errera (*Léo*). Cérémonie commémorative du 22 avril 1904 à l'Institut botanique. Bruxelles, 1904; extrait in-8° (22 p.).

Pelseneer (*Paul*). Quelques problèmes zoologiques de l'Antarctique. Paris, 1903; extr. in-8° (3 p.).

D'Hollander (*Fernand*). Les « pseudo-chromosomes » dans les oogonies et les oocytes des Oiseaux. Paris, 1904; extr. in-8° (7 p.).

— Recherches sur l'oogenèse et sur la structure et la signification du noyau vitellin de Balbiani chez les Oiseaux. Paris, 1904; in-8° (64 p., 3 pl.).

Arctowski (*Henryk*). Exploration of antarctic lands. Londres, 1904; 8° (32 p.).

Arctowski (*Henryk*). Antarctic meteorology and international co-operation in Polar Work. New-York, 1904; extrait in-8° (5 p.).

— Sur la variabilité de la température dans les régions antarctiques. Paris, 1904; in-4° (2 p.).

— Rapport sur les observations météorologiques horaires faites pendant l'hivernage antarctique de la « Belgica », en 1897-1899. Anvers, 1904; in-4° (150 p. et 23 pl.).

Zunz (*Edg.*). De l'emploi de l'or colloïdal pour caractériser les albumoses primaires. Liége, 1904; in-8° (11 p.).

— Sur la présence des bases hexoniques et des acides amidés dans la viande. Bruxelles, 1904; extrait in-8° (23 p.).

— Recherches sur la digestion pepsique et gastrique des albumoses primaires. Bruxelles, 1904; extrait in-8° (42 p.).

Ioteyko (*J.*). Les lois de l'ergographie. Étude physiologique et mathématique. Bruxelles, 1904; extrait in-8° (172 p. et 2 pl.).

— La dualité fonctionnelle du muscle. Bruxelles, 1904; in-8° (20 p.).

De Pauw (*L.*) et *Willemsen* (*G.*). La sépulture néolithique de la Tête-de-Flandre. Saint-Nicolas, 1904; in-8° (9 p. et 4 pl.).

Anvers. *Paedologisch jaarboek* (M.-C. Schuyten), vijfde jaargang, 1904.

Bruxelles. *Société scientifique*. Table analytique des vingt-cinq premiers volumes, 1875-1901, précédée de l'histoire documentaire de la Société. 1904.

—

Allemagne et Autriche.

Kalecsinszky (*Alexandre von*). Ueber die Akkumulation der Sonnenwärme in verschiedenen Flüssigkeiten. Budapest, 1904; in-8° (24 p.).

Beckenhaupt (*Charles*). Quelques considérations sur le mécanisme de la vie. Strasbourg, 1904; in-8° (24 p.).

de Bal (*L.*). Ueber neue Refraktionstafeln. Vienne, 1904; in-4° (2 p.).

Rodrigues (*Campos*). Corrections aux ascensions droites de quelques étoiles du « Berliner Jahrbuch », observées à Lisbonne. Kiel, 1902, in-4° (16 p.).

— Observations d'éclipses de Lune à l'Observatoire royal de Lisbonne. Kiel, 1904; in-4° (4 p.).

Francfort-sur-Main. *Senckenbergische Naturforschende Gesellschaft*. Bericht, 1904.

Berlin. *Geologische Gesellschaft*. Register der Zeitschrift, für die Bände I-L (1848-1898), 1903; in-8°.

—

Washington. *Surgeon-general's Office*. Index-catalogue of the library, second series, vol. IX, L-Lyuri. 1904; in-4°.

Montevideo. *Museo nacional*. Anales, tomo I : Geografia fisica y esferica de las provincias del Paraguay y misiones Guaranies. 1904.

—

France.

Albert Ier (*S. A. S. le prince*). Résultats des campagnes scientifiques accomplies sur son yacht, fascicule XXVII. Paris, 1904; in-4°.

Moissan (*Henri*). Traité de chimie minérale, tome Ier, fascicule 2, Métalloïdes, et tome II, fascicule 2, Métaux. Paris, 1904; 2 cahiers in-8°.

Vallot (*J.*). J. Vallot et son œuvre. Paris, 1904; extrait in-8° (16 p.).

Lesage (Pierre). Contribution à l'étude des mycoses dans les voies respiratoires. Rôle du régime hygrométrique dans la genèse de ces mycoses. Paris, 1904; in-8° (110 p.).

Paris. *Observatoire*. Photographie lunaire, agrandissement 16. 16 fois; par MM. Loewy et Puiseux, assistés de M. Le Morvan. Paris, 1904; 7 feuilles in-plano.

— *École polytechnique*. Journal, 9e cahier, 1904; in-4°.

Ministère de l'Instruction publique. Carte photographique du Ciel. Zone + 20 : feuille 12; zone 22 : feuilles 30, 40, 42 à 44; zone — 1 : feuilles 1, 29, 46, 66, 67, 80, 121 à 123, 172; zone + 1 : feuilles 1, 22, 25, 31, 34, 67, 81, 128, 148, 171, 172; zone + 3 : feuilles, 12, 25, 48, 67, 124, 134, 173. In-folio.

Toulouse. *Observatoire*. Catalogue photographique du Ciel. Coordonnées rectilignes, tomes II, IV, VI, VII, 1903-1904; 4 cahiers in-4°.

Bordeaux. *Société linnéenne*. Actes, volume LVIII, 1903.

Lille. *Société géologique*. Annales, XXXI, 1903.

Lyon. *Société linnéenne*. Annales, 1903, tome L.

— *Société d'agriculture, sciences et industrie*, tome Ier, 1903.

Marseille. *Musée d'histoire naturelle*. Annales, tome VIII, 1903. In-4°.

—

Grande-Bretagne et Colonies britanniques.

Coghlan (A.). New South Wales statistical register for 1902 and previous years. 1903.

Londres. *British Museum*. Catalogue of the greek coins of Cyprus (G. Fr. Hill). 1904.

— *Institution of mechanical engineers*. General index of proceedings, 1885-1900. In-8°.

Glasgow. *Royal Philosophical Society*. Proceedings, vol. XXIV, 1903-1904.

Burns (*David*). The anthracitation of coal. Londres, 1904; extrait in-8° (16 p.).

Pretoria. *Geological Survey of the Transvaal.* Report for the year 1903-1904; extrait in-8°.

Le Cap. *South philosophical Society.* Transactions, vol. XIII, 1904.

Wellington. *New Zealand Institute.* Transactions, vol. XXXVI, 1904;

Australian Association of the advancement of Science. Report of the ninth meeting, held at Hobart, 1902.

—

Galileo. Opere, edizione nationale sotto gli auspici di S. M. il Re d'Italia, volume XIV. Rome, 1904; in-4°.

Guareschi (*Icilio*). Storia della chimica. IV : Vannoccio Biringucci e la chimica tecnica. Turin, 1904; in-8° (36 p.).

Modène. *R. Stazione agraria sperimentali.*

Borredon (*Gius.*). La grande scoperta del secolo XX, o la soluzione d'ell' immenso problema dell' ignoto, etc. Naples, 1904; in-8° (13 p.).

Palerme. *Società di scienze naturali.* Giornale, vol. XXIV, 1904. In-4°.

—

Pays divers.

Amsterdam. *Kon. zoologisch Genootschap.* Bijdragen tot de dierkunde, 17e en 18e aflevering. 1904; in-4°.

Van der Stok (*J.-P.*). Études des phénomènes de marée sur les côtes néerlandaises. I. Analyse des mouvements périodiques et apériodiques du niveau de la mer. Utrecht, 1904; in-8° (22 p.).

Madrid. Almanaque nautico para 1906.

Bucarest. *Académie roumaine.* Analele, seria II, tomul 25

et 26, 1902-1904. Discursuri de receptiune, XXVI. Bibliografia Romanesca veche, 1508-1830, fascicules 4-6.

— Insectele in Limba, credintele si obiceiurile remanilor. Studiu folkloristic (Fl. Marian), 1903.

— Legendele Maicii Domnului. Studiu folkloristic (Fl. Marian), 1904; in-8°.

— Istoria Romanilor Macedoni (Ion Arginteanu), 1904; in-8°.

—

Copenhague. *Conseil permanent international pour l'exploration de la mer :*

Publications de circonstance :

N° 15. *Sigurd Stenius.* Ein Versuch zur Untersuchung der hydrographischen Veränderungen in der nördlichen Ostsee, sowie im finnischen und im bottnischen Meerbusen. Vorläufige Mitteilung, mit 5 Tafeln (5 p.).

N° 16. Grafische Berechnung von σ_t aus t und σ_0 (1 p.).

N° 17. *A.-J. Robertson B. Sc.* Scottish hydrographic research during 1903 (4 p.).

N° 18. *J.-W. Sandström.* Einfluss des Windes auf die Dichte und die Bewegung des Meerwassers (4 p.).

N° 19. *B. Helland-Hansen.* Zur Ozeanographie des Nordmeeres. Resumé eines am 22. Juli gehaltenen Vortrags. Mit 3 figuren im Text (5 p.).

N° 20. *Dr E. Ruppin.* Ueber die Oxydierbarkeit des Meerwassers durch Kaliumpermanganat (7 p.).

— Bulletin des résultats, 1903-1904, n° 4. In-4°.

— Rapports et procès-verbaux des réunions, vol. II, 1903-1904.

— *Institut météorologique.* Observations de la direction des nuages faites en Danemark, aux Feroë, en Islande et au Grönland, 1896-1897, 1904; in-4°.

———

La Bibliothèque de l'Académie a reçu en outre, pendant l'année 1904, les Revues ainsi que les publications des Institutions suivantes :

Anvers. *Société de médecine. — Société médico-chirurgicale. — Société de pharmacie.*

Bruxelles. *Académie royale de médecine. — Annales de médecine vétérinaire. — Annales des travaux publics. — Association belge de photographie. — Association belge des chimistes. — Bulletin mensuel de la station géophysique d'Uccle. — Bulletin de statistique démographique et sanitaire. — Ciel et Terre. — Ministères des Affaires étrangères, de l'Agriculture, de l'Intérieur, du Travail. — Moniteur belge. — Moniteur industriel belge. — Observatoire royal. — Presse médicale belge. — Revue de l'Université. — Sociétés : d'agriculture, d'anthropologie, d'astronomie, royale de botanique, d'électriciens, entomologique, de géologie et d'hydrologie, royale malacologique, royale de médecine publique, de microscopie, des sciences médicales et naturelles, scientifique.*

Charleroi. *Société paléontologique et archéologique.*

Gand. *Société de médecine.*

Gembloux. *Institut agricole.*

Huy. *Cercle des sciences et des beaux-arts. — Cercle des Naturalistes.*

Liége. *Écho vétérinaire. — Société géologique de Belgique. — Société médico-chirurgicale.*

Berlin. *Kön. Akademie der Wissenschaften. — Deutsche chemische Gesellschaft. — Geologische Gesellschaft. — Gesellschaft für Anthropologie, Ethnologie und Urgeschichte. — Jahresbericht über die Fortschritte der Chemie. — Physikalische Gesellschaft. — Meteorologisches Institut.*

Bonn. *Naturhistorischer Verein der preussischen Rheinlande und Westphalens.*

Brême. *Naturwissenschaftlicher Verein.*

Budapest. *Institut royal de géologie. — Académie des sciences.*

Cracovie. *Académie des sciences.*

Francfort-sur-Main. *Senckenberg. naturforsch. Gesellschaft.*

Francfort-sur-Oder. *Naturwissenschaftlicher Verein.*

Göttingen. *Kön. Gesellschaft der Wissenschaften.*

Halle. *Naturwiss. Verein für Sachsen und Thüringen.*

Iéna. *Medizinisch-naturwissenschaftliche Gesellschaft.*

Leipzig. — *Beiblätter zu den Annalen der Physik und Chemie. — Kön. Gesellschaft der Wissenschaften. — Zoologischer Anzeiger.*

Munich. *Kön. Akademie der Wissenschaften.*

O-Gyalla. *Observatorium.*

Prague. *Académie tchèque des sciences. — Kön. Gesellschaft der Wissenschaften. — Société mathématique.*

Strasbourg. *Société des sciences, agriculture et arts.*

Vienne. *Kaiserl. Akademie der Wissenschaften. — Anthropologische Gesellschaft. — Zoolog.-botanische Gesellschaft. — Kais. geologische Reichsanstalt. — Monatshefte für Mathematik und Physik. — Kais. naturhistorisches Hofmuseum. — Zool. botanische Gesellschaft.*

Wurzbourg. *Physikal.-medizinische Gesellschaft.*

Universités de Fribourg-en-Brisgau, Giessen, Heidelberg, Kiel, Marbourg, Strasbourg, Tubingue et Vienne.

Copenhague. *Institut météorologique. — Société royale des sciences.*

Albany. *University of the State of New York.*

Alleghany. *Observatory.*

Baltimore. *Johns Hopkins University.*

Berkeley. *University.*

Boston. *Academy of arts and sciences. — Natural History Society.*

Buenos-Ayres. *Sociedad cientifica Argentina.*

Cambridge. *Museum of compar. zoölogy. — Observatory.*

Chicago. *Field Columbian Museum.* — *Kenwood Observatory.*

Cincinnati. *Lloyd library.*

Cordova. *Academia de ciencias.*

Granville. *Denison University.*

Halifax. *Nova-Scotian Institute.*

Ithaca. *Journal of physical chemistry.*

Laurence. *The Kansas University.*

Lincoln. *University of Nebraska.*

Mexico. *Observatorio.* — *Sociedad de historia natural.*

Montevideo. *Universidad.*

Mont-Hamilton. *Lick Observatory.*

Montréal. *Natural history Society.*

New-Haven. *Journal of sciences.*

New-York. *Academy of sciences.* — *Mathematical Society.* — *Museum of natural history.*

Philadelphie. *Academy of natural sciences.* — *Franklin Institute.* — *The american Naturalist.* — *Philosophical Society.* — *Historical Society.*

Rochester. *Academy of sciences.* — *Geological Society.*

Saint-Louis. *Academy of sciences.*

Salem. *Essex Institute.*

San-Francisco. *California Academy of sciences.*

Santiago de Chili. *Société scientifique.*

Toronto. *Canadian Institute.*

Urbana. *Illinois State laboratory.*

Washington. *Department of Agriculture.* — *U. S. national Museum.* — *Smithsonian Institution.* — *U. S. Geological Survey.*

Amiens. *Société industrielle.*

Bône. *Académie d'Hippone.*

Bordeaux. *Société des sciences physiques et naturelles.*

Caen. *Société linnéenne.*

Dax. *Société de Borda.*

Le Havre. *Société d'études diverses.*

Lille. *Société géologique du Nord.*

Lyon. *Université.*

Marseille. *Société scientifique industrielle. — Faculté des sciences.*

Montpellier. *Académie des sciences et des lettres.*

Nancy. *Société des sciences.*

Paris. *Académie de médecine. — Bulletin scientifique* (Giard). *— École normale supérieure. — École polytechnique. — Journal de l'agriculture. — Le Cosmos. — La Nature. — Le Progrès médical. — Ministère de l'Instruction publique. — Moniteur scientifique. — Muséum d'histoire naturelle. — Revue générale des sciences. — Revue scientifique. — Sociétés : d'agriculture, d'anthropologie, astronomique, de biologie, chimique, géologique, mathématique, météorologique, philomatique, zoologique.*

Toulouse. *Université.*

Valenciennes. *Société d'agriculture, sciences et arts.*

Adelaïde. *Royal Society of South Australia.*

Birmingham. *Philosophical Society.*

Calcutta. *Asiatic Society of Bengal. — Meteorological Department. — Geological Survey.*

Cambridge. *Philosophical Society.*

Dublin. *Dublin Society.*

Édimbourg. *Botanical Society. — Geological Society. — Physical Society. — Royal Society. — Laboratory of the R. College of physicians.*

Glascow. *Geological Society.*

Le Cap. *Philosophical Society.*

Londres. *Anthropological Institute. — Royal Astronomical Society. — Chemical Society. — Geological Society. — Institution of mechanical Engineers. — Institute of civil Engineers. — Royal Institution of Great Britain. — Linnean Society.*

— *Mathematical Society.* — *Meteorological Society.* — *Royal Microscopical Society.* — *Nature.* — *Zoological Society.*

Newcastle-upon-Tyne. *Institute of mining and mechanical Engineers.*

Sydney. *Linnean Society.* — *R. Society of N. S. Wales.*

Florence. *Società entomologica italiana.* — *Rivista scientifico-industriale.*

Milan. *Società di scienze naturali.* — *R. Istituto di scienze.*

Modène. *Società dei naturalisti.* — *Statione agrarie.*

Naples. *Società Reale.*

Padoue. *Società veneto-trentina di scienze naturali.*

Palerme. *Circolo matematico.*

Parme. *Il nuovo Risorgimento.*

Pise. *Società toscana di scienze naturali.* — *Il nuovo cimento.*

Rome. *Academia pontificia de Nuovi Lincei.* — *Comitato di artiglieria e genio.* — *Gazetta chimica.* — *Ministerio dei lavori pubblici.* — *Società zoologica.*

Sassari. *Università.*

Turin. *Academia reale delle scienze.*

Venise. *R. Istituto di scienze.*

Vérone. *Accademia d'agricoltura.*

Amsterdam. *K. Akademie van wetenschappen.* — *Société mathématique.*

Batavia. *Genootschap van kunsten en wetenschappen.* — *Natuurkundige Vereeniging.*

Buitenzorg. *Jardin botanique.*

Delft. *École polytechnique.*

Harlem. *Société hollandaise des sciences.*

La Haye. *Entomologische Vereeniging.*

Leyde. *Nederlandsche dierkundige Vereeniging.*

Bucarest. *Institut météorologique.* — *Ministère de l'Instruction publique.* — *Société des sciences physiques.*

Jassy. *Société scientifique et littéraire.*

Dorpat. *Université.* — *Naturforschende Gesellschaft.*
Kazan. *Université impériale.*
Moscou. *Société impériale des Naturalistes.*
Nowa-Alexandrya. *Annuaire géologique et minéralogique.*
Odessa. *Société des Naturalistes.*
Saint-Pétersbourg. *Académie impériale des sciences.* — *Institut impérial de médecine expérimentale.* — *Comité géologique.* — *Jardin impérial de botanique.* — *Société de chimie.* — *Université impériale.*
Varsovie. *Travaux mathématiques et physiques.*

Christiania. *Société des sciences.* — *Université.*
Stockholm. *Nordiskt medicinsk Archiv.* — *Acta mathematica.* — *Institut royal géologique.* — *Société entomologique.*
Upsal. *Université.*
Bâle. *Université.*
Genève. *Archives des sciences physiques et naturelles.*
Lausanne. *Société vaudoise des sciences naturelles.*
Zurich. *Naturforschende Gesellschaft.*

Alexandrie. *Institut égyptien.*
Belgrade. *Académie royale des sciences.*
Coïmbre. *Jornal mathematicas* (Teixeira).
Le Caire. *Société khédiviale de géographie.*
Manila. *Observatorio meteorologico.*
Tokyo. *Gesellschaft für Natur- und Völkerkunde Ostasiens.* — *Imperial University.*

TABLES ALPHABÉTIQUES

Classe des sciences.

1904

TABLE DES AUTEURS.

A

Académie des sciences de Berlin. Offre un exemplaire de la plaquette commémorative de son deux-centième anniversaire, 972.

Académie de Stanislas, à Nancy. Adresse le programme du Prix Herpin, 972.

Académie impériale de Vienne. Proposition relative à la composition du Bureau de l'Association internationale des Académies, 8.

Académie royale des sciences de Madrid. Admise à faire partie de l'Association des Académies, 203.

Académie royale des sciences, des lettres et des beaux-arts de Belgique. Modifications aux Statuts et au Règlement général (Nouvelle série de mémoires), 810.

Albert Ier de Monaco (S. A. Mgr le prince). Hommage d'ouvrage, 373.

Andion (*Inoc.*). Quadrature du cercle (lettre déposée aux archives), 85.

Arctowski (*H.*). Hommage d'ouvrages, 1129.

Association internationale des Académies (2e session à Londres). Propositions relatives : 1° à la composition du Bureau des assemblées générales, 8; 2° à la création de stations pour ob-

server l'électricité atmosphérique, 84; 3° à l'admission de l'Académie royale des sciences de Madrid, 203; 4° à l'adjonction de nouveaux membres à l'Institut Marey, 203; 5° à la collaboration des Académies au *Catalogue of scientific litterature,* 204; 6° à l'établissement de stations sismologiques, 204; rapports de MM. Dewalque, Mourlon et Lancaster, 376, 380, 382; décisions de la Commission instituée, 1126. — Compte rendu par M. L. Fredericq de sa mission à la troisième réunion à Londres, 734, 735.

B

Bambeke (*Ch. Van*). Délégué au VIe Congrès de zoologie, à Berne, 9, 813. — Note bibliographique : voir *Schuyten* (*M.-C.*). — Rapport : voir *Julin* (*Ch.*).

Barette (*E.*). Hommage d'ouvrage, 373.

Basiaux (*P.*). Baromètres à flotteurs (notes déposées aux archives, après avis de M. Lancaster), 85, 226.

Beaupain (*J.*). Sur la fonctiou gamma double (revision à l'examen), 735; rapports de MM. de la Vallée Poussin, Deruyts et Mansion, 880, 894.

Belgica (Commission de la). Hommage d'ouvrages, 814.

Beneden (*Éd. Van*). Nommé Président de la Commission de la « Belgica », 83. — Rapports : voir *Julin* (*Ch.*); *Selys Longchamps* (*Marc* et *Maurice de*).

Bijl (*E.*). Hommage d'ouvrage avec note par F. Folie (Détermination de la latitude de l'Observatoire royal de Belgique, à Uccle, et recherches des variations apparentes de la latitude), 1030, 1031.

Blas (*C.*). Hommage d'ouvrage, 373.

Boëns (*J.*). Hommage d'ouvrage, 973. — Aperçus nouveaux sur la façon dont l'électricité statique se comporte dans les corps conducteurs en général et dans une sphère creuse en particulier (dépôt aux archives sur la proposition de M. De Heen), 1191.

Boutquin (*A.*). Envoie pour le Prix Mailly ses « Entretiens sur le monde physique », 11. — Rapports de MM. Folie, Lagrange et Le Paige, 1175, 1180, 1183.

Brachet (*A.*). Hommages d'ouvrages, 454, 973.

Breydel (*A.*). Hommage d'ouvrage, 973.

Burton (*D.*). Trisection des angles (dépôt aux archives), 13.

Bussy (*P.*). Hommage d'ouvrage, 973.

C

Cercle mathématique de Palerme. Adresse le programme pour le Prix Guccia, 1030.

Cesàro (*G.*). Sur un caractère spécifique des minéraux opaques, 115; avis de M. De Heen, 90. — Contribution à l'étude de quelques minéraux, 1198; avis de M. Dewalque, 1191. — Rapport : voir *Prinz* (*W.*). — Hommage d'ouvrages, 973.

Clément (Dr). Sur l'action de l'acide formique sur le système musculaire (dépôt aux archives), 860, 1040; rapport de MM. Masius et Fredericq, 1039, 1040.

Couturat (*L.*) et *Léau* (*L.*). Hommage d'ouvrage (Histoire de la langue universelle), 9; note et motion de M. De Tilly au sujet de cet ouvrage, avec considérations appuyées par M. Mourlon et proposition de MM. De Tilly et Errera, 86, 89, 90.

D

De Donder (*Théop.*). Application nouvelle des invariants intégraux, I, II (*Mémoires* in-8° de la Classe des sciences, t. I). Rapports de MM. C.-J. de la Vallée Poussin, Mansion et Deruyts, 737, 739, 1133, 1134.

De Heen (*P.*). Élu directeur pour 1905, 11. — Note sur les modes d'imprégnation des roches, 63. — Sur la texture gyrostatique et fibreuse des gaz, 69. — Une interprétation du mécanisme de l'ion, 257. — Nouvelle conception de l'atome chimique, 285. — Rotation d'un courant par lui-même, 409. — La théorie électro-magnétique du calorique et le phénomène de Hall, 755. — Conception nouvelle du zéro absolu, 66. — Note sur la conception du zéro absolu, 995. — Note sur la signification de l'expérience de Rowland, 1155. — Le phénomène de la phosphorescence et la genèse de la matière, 1149.—Rapports : voir *Boëns* (*J.*); *Cesàro* (*G.*); *Devenyns* (*Ch.-P.*); *Hemptinne* (*A. de*); *Malvaut*; *Monier* (*M.*); *Puttemans* (*Ch.*); *Vandevelde* (*A.-J.-J.*); *Wasteels* (*C.-F.*); *Wattier* (*E.*).

Delacre (*M.*). Recherches sur la notion de l'individualité chimique à propos de la constitution de la pinacoline (*Mémoires* in-8° de la Classe des sciences, t. I). Rapports de MM. Henry et Swarts, 865, 877; Quelques observations sur le rapport de M. Swarts, 1023. — Sur l'isomérisation (résumé du mémoire précédent), 950. — Rapport : voir *Terlinck* (*Égide.*).

de la Vallée Poussin (*C.-J.*). Rapports : voir *Beaupain* (*J.*); *De Donder* (*Théop.*); *Teixeira* (*Gomes F.*).

Deruyts (*J.*). Rapports : voir *Beaupain* (*J.*); *De Donder* (*Théop.*); *Teixeira* (*Gomes F.*).

Descamps (baron *Éd.*). Président de l'Académie pour 1904, 8.

Devenyns (*Ch.-P.*). Le mécanisme synthétique des forces cosmiques (à l'examen), 735; dépôt aux archives après lecture du rapport de MM. Lagrange et De Heen, 818.

De Vries (*Hugo*). Élu associé, 1366.

Dewaele (*H.*). Dépôt d'un billet cacheté, 205.

Dewalque (*G.*). Quelques mots sur la langue universelle, 399. — Le nivellement de précision de la Belgique. Rectification, 820. — Membre de la Commission des finances, 1172. — Cinquantenaire de son entrée à l'Académie (paroles prononcées par M. L. Fredericq) 1173. — Rapports : voir *Association internationale des Académies; Cesàro* (*G.*)*; Société Royale de Londres.*

De Wildeman (*Ém.*). Hommage d'ouvrage, 734.

D'Hollander (*F.*). Hommage d'ouvrage, 1031.

Doudou (*Ern.*). Hommage d'ouvrage, 205.

Duhem (*P.*). Hommage d'ouvrage, 373.

Durand (*Théop.*). Élu correspondant, 805; remercie, 813.

E

Errera (*Léo*). Propose de voir une langue universellement adoptée, sans exclure les langues mortes ou vivantes, 90. — Délégué, avec droit de vote, au Congrès international de botanique de Vienne, 1126. — Rapport : voir *Wery* (*Joséphine*).

F

Falloise (*A.*). Demande à pouvoir occuper en 1905 la table belge de la Station zoologique de Naples, 1174.

Fiévez (*Ch.*). Hommage d'ouvrages, 205. — Observations des Léonides, faites à Boitsfort en 1904, 1159; rapport de M. Terby, 1137, 1402.

Firket (*Ad.*). Hommage d'ouvrage, 973.

Folie (*F.*). Dernière réplique à M. Ch. Lagrange, 71. — Sur de nouveaux termes du second ordre provenant du mouvement systématique, 309. — Un fait physique nouveau d'une importance capitale pour la géologie et l'astronomie physique, 382. — Preuve physique de la libration terrestre (suite à la note sur un fait physique nouveau), 941. — Périodicité semi-diurne des mouvements apparents d'un pendule libre dans le premier vertical, 1138. — Première détermination des constantes de la libration terrestre, 1193. — Note bibliographique : voir *Bijl* (*E.*). — Rapport : voir *Boutquin* (*A.*; *Stroobant* (*Paul*).

Forir (*H.*). Hommage d'ouvrage, 205.

Fraipont (*J.*). Hommage d'ouvrage, 814.

Francotte (*Polyd.*). Élu membre titulaire (approbation royale), 8; remercie, 8. — Hommage d'ouvrage avec note (photographie de 16 feuillets d'un manuscrit d'histoire naturelle de la Bibliothèque du Vatican), 860, 861.

Fredericq (*L.*). Hommage rendu à la mémoire de von Zittel et de G. Salmon, 82; d'Ém. Laurent, 202; de J. Marey, 734. — Hommage d'ouvrage, 454. – Compte rendu de sa mission à Londres à la deuxième assemblée de l'Association internationale des Académies, 734, 735. — Cinquantenaire de l'entrée de M. Dewalque à l'Académie (paroles prononcées), 1173. — La faune et la flore glaciaires du plateau de la Baraque-Michel (point culminant de l'Ardenne), 1263. — Note bibliographique : voir *Nuel* (Dr). — Rapports : voir *Clément* (Dr); *Hougardy* (*Ant.*); *Humblet* (*Max*); *Ioteyko* (*J.*); *Nolf* (*P.*).

G

Gadeaux (*L.*). Essai d'un thermomètre à graduation mathématique (dépôt aux archives après avis de M. Lancaster), 974.

Gaudry (*Albert*). Hommage d'ouvrage, 10.

Gentil (*L.*). Hommage d'ouvrage, 734.

Gillot (*H.*). Une contribution à l'étude des propriétés des mélanges : le point de fusion de quelques mélanges de sucre, 834; rapport de M. Spring, 819. — Hommage d'ouvrage avec note par C. Malaise (Notice sur Ém. Laurent), 972, 974.

Guarini (*E.*). Hommage d'ouvrage, 10.

H

Habets (*Alfr.*). Hommage d'ouvrage, 205.

Haeckel (*Ern.-H.*). Remercie pour les félicitations au sujet de son 70e anniversaire, 203. — Hommage d'ouvrage, 454.

Heger (*P.*). Hommage d'ouvrage, 454.

Hemptinne (*A. de*). Sur la synthèse de l'acide stéarique par les décharges électriques, 550; rapport de MM. Spring et De Heen, 455.

Henry (*L.*). Recherches sur la volatilité dans les composés carbonés, 42. — Sur l'éther méthylique de l'acétol, 387. — Sur le système carbo-azoté $-C=N$ à soudure double, 741. — Sur quelques dérivés du nitrile glycolique $NC-CH_2(OH)$, 895. — Les lois des poids en chimie et la théorie atomique, 975. — Sur l'éther amidé $(H_2N)CH_2-CH_2(OC_2H_5)$, 984. — Note au sujet du calcium, 994. — Sur la fusibilité dans la série des glycols normaux bi-primaires $(HO)CH_2$

$-(CH_2)_n-CH_2(OH)$, 1142. — Hommage d'ouvrage, 84. — Rapports : voir *Delacre* (*M.*); *Puttemans* (*Ch.*); *Stappers* (*L.*); *Swarts*(*Fréd.*); *Terlinck*(*Égide*); *Vandenberghe* (*Ad.*); *Vitoria* (*Édouard*).

Hinrichs (*G.*). Note autographiée relative à la chute de météorites : « Great Iowa meteor », 815.

Hougardy (*Ant.*). Sur les modifications subies par les solutions de soude injectées dans le torrent circulatoire et la cause de l'apnée, 123; rapport de MM. Masius et Fredericq, 96, 97.

Humblet (*Max*). Le faisceau musculaire interauriculo-ventriculaire, lien physiologique entre les oreillettes et les ventricules du cœur, 802; rapport verbal de M. L. Fredericq, 737.

I

Institut botanique de Bruxelles. Hommage d'ouvrage, 1129.

Institut Marey. Admission de nouveaux membres, 203.

Institut vénitien des sciences, des lettres et des beaux-arts. Envoie le programme de ses concours annuels, 860.

Ioteyko (*J.*). Hommages d'ouvrages, 454, 1129. — Les lois de l'ergographie. Étude physiologique et mathématique, 557; rapport de MM. Léon Fredericq et Masius, 455, 457.

J

Jorissen (*Armand*). Élu membre titulaire (approbation royale), 8; remercie, 8.

Jouveneau (*A.*). Sur une des causes de l'accélération séculaire du mouvement de la Lune (à l'examen), 374; dépôt aux archives après lecture du rapport de MM. Lagrange et Le Paige, 818.

Julin (*Ch.*). Demande à pouvoir occuper en 1904 la table belge de la Station zoologique de Naples (lecture des rapports de MM. Van Beneden, Van Bambeke et Plateau), 12.

K

Karpinsky (*A.*). Hommage d'ouvrages, 373.

Koenen (*Ad. von*). Élu associé, 805; remercie, 813.

L

Lagrange (*Ch.*). Dépose des billets cachetés, 9, 83, 205. — Réponse à une objection de mes confrères concernant l'Infiniment petit absolu, 13. — Sur une démonstration du Postulatum d'Euclide (la Métagéométrie et l'Infiniment petit absolu), 26. — L'argument du millionnaire et l'Infiniment petit absolu (Réponse à des objections et

Remarque sur une déclaration de M. Mansion), 102.—La droite plus courte distance et le carré de l'hypothénuse (Une erreur de méthode dans la géométrie élémentaire; la notion de direction et sa nécessité), 458. — Sur la raison pour laquelle le nombre des dimensions de l'Espace est le nombre 3 (L'Espace est la réalisation des lois de la grandeur abstraite), 489. — Résistance des matériaux. L'Infiniment petit absolu et le problème de la flexion debout (Un chapitre de science appliquée mise au point par l'Infiniment petit fixe), 907. — Le principe de la limite conduit, dans des problèmes classiques, aux relations absurdes $1 = \frac{1}{2}$ et $1 = 0$ (Ce que serait un Traité de probabilités fondé sur le seul principe de la limite), 923. — Rapports : voir *Boutquin* (*A*); *Devenyns* (*Ch.-P.*); *Jouveneau* (*A.*); *Stroobant* (*Paul*); *Wattier* (*E.*). — Voir *Folie* (*F.*).

Lameere (*Aug.*). Délégué au VIe Congrès de zoologie à Berne, 9, 813. — Note sur la limite géographique des faunes de l'Asie et de l'Australie, 1022. — L'évolution des ornements sexuels, 1327. — Rapport : voir *Selys Longchamps* (*Maurice de*).

Lancaster (*Alb.*). Hommages d'ouvrages, 373, 860. — Membre de la Commission des finances, 1172. — Rapports : voir *Association internationale des Académies; Basiaux* (*P.*); *Gadeaux* (*L.*); *Société Royale de Londres.*

Laurent (*Ém.*). Décès (hommage rendu à sa mémoire par M. Léon Fredericq), 202.

Léau (*L.*) et *Couturat* (*L.*). Hommage d'ouvrage (Histoire de la langue universelle), 9; note et motion de M. De Tilly au sujet de cet ouvrage, avec considérations appuyées par M. Mourlon et proposition de MM. De Tilly et Errera, 86, 89, 90.

Lebeau (*V.*). Hommage d'ouvrages, 204.

Lecointe (*G.*). Hommage d'ouvrage, 85.

Lenard (*P.*). Élu associé, 805; remercie, 813.

Le Paige (*C.*). Rapports : voir *Boutquin* (*A.*); *Jouveneau* (*A.*); *Stroobant* (*Paul*).

Lévy (*A.-M.*). Remercie pour son élection et son diplôme d'associé, 8, 82.

Lohest (*Max*). Hommage d'ouvrage, 204. — Élu correspondant, 805; remercie, 813.

M

Malaise (*C.*). Hommage d'ouvrage, 85. — Notes bibliographiques : voir *Gillot* (*H.*); *Mathieu* (*E.*). — Rapport : voir *Prinz* (*W.*).

Malvaut. Essai de transformation en force motrice des différences

de densité existant entre les gaz hydrogène et oxygène par rapport à l'eau (à l'examen), 374; dépôt aux archives après avis de M. De Heen, 454.

Mansion (*P.*). Discours au Roi le 1er janvier 1904, 1. — Sur une intégrale considérée en calcul des probabilités, 239 — Le latin sans flexion de Péano comme langue internationale auxiliaire de l'avenir, 254. — Sur une sommation d'intégrales considérées en calcul des probabilités, 538. — Rapports : voir *Beaupain* (*J.*); *De Donder* (*Théop.*); *Michaux* (*Ch.*); *Servais* (*Clém.*); *Teixeira* (*Gomes F.*).

Marchal (Chev. *Edm.*). Présente l'*Annuaire* de l'Académie pour 1904, renfermant une notice sur l'Académie de 1772 à 1904, 83.

Marey (*É.-J.*). Décès (hommage rendu à sa mémoire par M. L. Fredericq), 734.

Masius (*J.-B.*). Rapports : voir *Clément* (Dr); *Hougardy* (*Ant.*); *Ioteyko* (*J.*); *Nolf* (*P.*).

Massart (*Jean*). Élu correspondant, 805; remercie, 813.

Mathieu (*E.*). Hommage d'ouvrage avec note par C. Malaise (La roche kératophyrique de Grand-Coo), 373, 374.

Mayer (*L.*). Hommage d'ouvrage, 734.

Michaux (*Ch.*). Géométrie euclidienne. Livre Ier : Théorie des parallèles (dépôt aux archives); lecture du rapport de MM. Neuberg et Mansion, 225.

Micheels (*H.*). Hommages d'ouvrages, 10, 814.

Ministre de l'Instruction publique d'Italie. Hommage d'ouvrage, 1128.

Ministre de l'Intérieur. Envois d'ouvrages, 8, 83, 972.

Ministre des Cultes, à Berlin. Offre un exemplaire de la plaquette commémorative du deux-centième anniversaire de l'Académie des sciences de Berlin, 972.

Moissan (*H.*). Hommages d'ouvrages, 204, 373, 1129.

Monier (*M.*). Dépôt aux archives de sa note sur la dissociation de la matière (avis de M. De Heen), 13.

Mont (*Aug.*). Duplicacion del cubo (note déposée aux archives), 85.

Mourlon (*M.*). Hommages d'ouvrages, 10, 204, 373. — Appuie les considérations de M. De Tilly au sujet de l'utilité d'une langue scientifique internationale, 89. — A propos du gisement de Mammouth de Meerdegat (Alken), près de Hasselt, 1046. — Membre de la Commission des finances, 1172. — Rapport : voir *Association internationale des Académies; Société Royale de Londres.*

N

Neuberg (*J.*). Hommage d'ouvrages, 204. — Rapports : voir *Michaux* (*Ch.*); *Servais* (*Clém.*).
Nolf (*P.*). Deuxième note au sujet de la respiration périodique et des courbes vaso-motrices chez le chien propeptoné, 147. — De l'absorption intestinale de la propeptone chez le chien (2e partie), 153; rapports de MM. Masius et Fredericq sur ces deux communications, 98, 99, 102.
Nuel (Dr). Hommage d'ouvrage avec note par L. Fredericq (La vision), 814, 816.

O

Oechsner de Coninck (*W.*). Sur quelques réactions de sels uraneux et manganeux, 360. — Sur les oxydes et sur le carbonate d'uranium, 363. — Quelques observations nouvelles sur les oxydes d'uranium, 448. — Contribution à l'étude du chlorure de cobalt, 803. — Note sur le chlorure de cobalt, 832. — Synthèse de sulfates par le procédé de M. Spring, 833. — Sur le tétrahydrate de chlorure de cobalt, 1170. — Synthèse d'un sulfate double de sodium et d'uranyle par le procédé Spring, 1171; rapports de M. Spring, 238, 376, 740, 818, 1137.

P

Pasquier (*Ern.*). Hommage d'ouvrage, 734.
Pelseneer (*P.*). Élu membre titulaire (approbation royale), 8; remercie, 8. — Délégué au VIe Congrès de zoologie à Berne, 9, 113. — La « Ligne de Weber », limite zoologique de l'Asie et de l'Australie, 1001. — Hommage d'ouvrage, 1174. — Voir *Lameere* (*Aug.*).
Plateau (*F.*). Rapports : voir *Julin* (*Ch.*); *Wery* (*Joséphine*).
Prinz (*W.*). Sur la monazite et le xénotime de Nil-Saint-Vincent, 313; rapports de MM. Cesàro et Malaise, 226, 234.
Puttemans (*Ch.*). Soumet son Cours de chimie au jury pour le Prix Melsens, 816; rapport de MM. Henry, Spring et De Heen, 1189.

R

Renault (*B.*). Décès, 1030.
Rivière (*Em.*). Hommage d'ouvrages, 10.
Roux (*Wilhelm*). Remercie pour son élection et son diplôme d'associé, 8, 82.

S

Salmon (*George*). Décès (hommage rendu à sa mémoire), 82.
Schuyten (*M.-C.*). Hommage d'ou-

vrage avec note par Ch. Van Bambeke (Paedologisch jaarboek), 1129.

Segre (*Corrado*). Remercie pour son élection et son diplôme d'associé, 8, 82.

Selys Longchamps (*Marc de*). Hommage d'ouvrage, 10. — Demande à pouvoir occuper en 1905 la table belge de la Station zoologique de Naples, 1174.

Selys Longchamps (*Maurice de*). Recherches sur le développement embryonnaire de l'appendice du premier segment abdominal chez *Tenebrio Molitor*, 413; rapport de MM. Lameere et Van Beneden, 235, 236.

Servais (*Clém.*). Mémoire sur les faisceaux de surfaces du second ordre (*Mémoires* in-8° de la Classe des sciences, t. I). Remis en possession de son manuscrit pour revision, 85, 205. Avis de M. Neuberg, 375. — Sur la courbure des coniques et des cubiques gauches (*Mémoires* in-8°). Rapports de MM. Neuberg et Mansion, 1131, 1133.

Simoens (*G.*). Hommage d'ouvrage, 973.

Société Wiskundig Genootschap *d'Amsterdam*. Envoie le programme de ses questions de concours pour 1904, 203.

Société impériale des naturalistes de Saint-Pétersbourg. Appel pour la création du fonds A.-O. Kowalewsky, 9.

Société royale asiatique (branche de Bombay). Centenaire, 372.

Société royale de Londres. Propose l'adoption, par l'Association internationale des Académies, d'une définition des branches des recherches géologiques pour lesquelles la coopération internationale est demandée. Rapports de MM. Dewalque, Mourlon et Lancaster, 376, 380, 382.

Spring (*W.*). Sur la décomposition de quelques sulfates acides à la suite d'une déformation mécanique, 290. — Membre de la Commission des finances, 1172. — Rapports : voir *Gillot* (*H.*); *Hemptinne* (*A. de*); *Oechsner de Coninck* (*W.*); *Puttemans* (*Ch.*); *Stappers* (*L.*); *Swarts* (*Fréd.*); *Vandenberghe* (*Ad.*); *Vandevelde* (*A.-J.-J.*); *Vitoria* (*Édouard*); *Wasteels* (*C.-F.*).

Stappers (*L.*). Sur quelques dérivés chlorés des méthylals propylique et isopropylique, 1161; rapports de MM. Henry et Spring, 1134, 1136.

Stroobant (*Paul*). Soumet différents ouvrages au concours pour le Prix Mailly, 11. Rapports de MM. Folie, Lagrange et Le Paige, 1175, 1180, 1183.

Stuyvaert (*M.*). Dépose un pli cacheté, 84.

Sugg (*E.*). Dépose un pli cacheté, 205.

Swaen (*A.*). Hommage d'ouvrage, 454.

Swarts (*Fréd.*). Sur quelques ami-

nes à radical alcoolique fluoré (1re et 2e communications), 762, 955; rapports de MM. Spring et Henry, 740, 879. — Élu correspondant, 805; remercie, 813. — Rapport : voir *Delacre* (*M.*).

T

Teixeira (*Gomes F.*). Sur la série de Lagrange et ses applications (*Mémoires* in-4° de la Classe des sciences, t. I). Rapports de MM C.-J. de la Vallée Poussin, Mansion et J. Deruyts, 90, 95.

Terby (*F.*). Sur la fréquence des étoiles filantes du 14 novembre 1904, 1157. — Rapport : voir *Fiévez* (*Ch.*).

Terlinck (*Égide*). Recherches sur la déshydratation de l'isodypnopinacoline α, 1049; rapports de MM. Delacre et Henry, 1040, 1042.

Tilly (*J. De*). Note, motion et proposition au sujet de l'ouvrage de MM. Couturat et Léau sur l'Histoire de la langue universelle, 86, 89, 90. — Réélu membre de la Commission administrative, 805.

U

Université de l'État de Wisconsin. Cinquantième anniversaire de sa fondation, 84.

V

Vandenberghe (*Ad.*). Contribution à l'étude de la dissociation des corps dissous (4e communication), 821; lecture des rapports de MM. Spring et Henry, 376; remis en possession de son manuscrit pour revision, 375; rapports de MM. Spring et Henry, 818, 862, 864.

Van der Mensbrugghe (*G.*). Sur l'élasticité développée dans les jets d'eau, 401. — Membre de la Commission des finances, 1172 — Hommages d'ouvrages, 454, 814

Van der Stricht (*O.*). Hommage d'ouvrage, 1030.

Vandevelde (*A.-J.-J.*). Recherches sur la substitution métallique (2e communication, en collaboration avec C.-F. Wasteels), 331; rapport de MM. Spring et De Heen, 237, 238. — Dépôt d'un pli cacheté, 205.

Vitoria (*Édouard*). Sur l'isopropanol trichloré 1.1.1 $Cl_3C-CH(OH)-CH_3$, 1087; rapport de MM. Henry et Spring, 1042, 1046.

W

Wasteels (*C.-F.*). Recherches sur la substitution métallique (2e communication, en collaboration avec A.-J.-J. Vandevelde),

331; rapport de MM. Spring et De Heen, 237, 238.
Wattier (*E.*). Sur la recherche de la cause de l'ellipticité de l'orbite terrestre (à l'examen), 735; dépôt aux archives après lecture du rapport de MM Lagrange et De Heen, 818.
Wery (*Joséphine*). Quelques expériences sur l'attraction des Abeilles par les fleurs, 1211; rapports de MM. Plateau et Errera, 1191, 1192.

Z

Zittel (Chev. *von*). Décès (hommage rendu à sa mémoire), 82.
Zunz (*Edg.*). Hommage d'ouvrage, 734.

TABLE DES MATIÈRES.

A

Abeilles. Quelques expériences sur l'attraction des Abeilles par les fleurs; par Joséphine Wery, 1211; rapports de MM. Plateau et Errera, 1191, 1192.

Absorption (De l') intestinale de la propeptone chez le chien (deuxième partie); par P. Nolf, 153; rapport de MM. Masius et Fredericq, 99, 102.

Acétol. Voir *Éther*.

Acide formique (Note concernant l'action de l') sur le système musculaire; par le Dr L. Clément (à l'examen); rapport de MM. Masius et Fredericq, 1039, 1040.

Acide stéarique (Sur la synthèse de l') et sur les décharges électriques; par A. de Hemptinne, 550; rapport de MM. Spring et De Heen, 455.

Amines (Sur quelques) à radical alcoolique fluoré. Première et deuxième communications; par F. Swarts, 762, 955; rapports de MM. Spring et Henry, 740, 879.

An (Nouvel). Discours au Roi le 1er janvier 1904; par M. P. Mansion, 1.

Analyse. Réponse à une objection d'un de mes confrères concernant l'Infiniment petit absolu; par Ch. Lagrange, 13. — L'argument du millionnaire et l'Infiniment petit absolu (Réponse à des objections et Remarque sur une déclaration de M. Mansion); par Ch. Lagrange, 102. — Le principe de la limite conduit, dans des problèmes classiques, aux relations absurdes $1 = 1/2$ et $1 = 0$. (Ce que serait un Traité de probabilités fondé sur le seul principe de la limite); par Ch. Lagrange, 923. — Voir *Fonctions; Géométrie; Intégrales*.

Angles (Trisection des); par D. Burton (lettre déposée aux archives), 13.

Annuaire de l'Académie. Présentation de celui de 1904 renfermant une notice sur l'Académie de 1772 à 1904, 83.

Apnée. Sur les modifications subies par les solutions de soude injectées dans le torrent circu-

latoire et la cause de l'apnée; par Antoine Hougardy, 123; rapports de MM. Masius et Fredericq, 96, 97.

Astronomie. Sur des nouveaux termes du second ordre provenant du mouvement systématique; par F. Folie, 309 — Périodicité semi-diurne des mouvements apparents d'un pendule libre dans le premier vertical; par F. Folie, 1138. — Voir *Cosmophysique; Ellipticité; Étoiles filantes; Latitudes; Libration terrestre; Lune; Météorites; Physique.*

Atome chimique (Nouvelle conception); par P. De Heen, 285. — Voir *Chimie.*

B

Baraque-Michel. Voir *Faune.*

Baromètres à flotteurs; par P. Basiaux (notes déposées aux archives sur l'avis de M. Lancaster), 85, 226.

Bibliographie. Catalogue of scientific literatur (l'Académie royale de Londres sollicitera de l'Association internationale la collaboration des Académies), 204; rapports de MM. Mourlon et Lancaster.

Billets cachetés déposés par MM. Dewaele (H.), 205; Lagrange (Ch.), 9, 83, 205; Stuyvaert (M.), 84; Sugg (E.), 205; Vandevelde (A.-J.-J.), 205.

Biographie. Hommages rendus par L. Fredericq à la mémoire du chevalier von Zittel et du R. George Salmon, associés, 82; d'Émile Laurent, correspondant, 202; d'Étienne Jules Marey, associé, 734. — Sur la vie et l'œuvre d'Émile Laurent (H. Gillot); note par C. Malaise, 974. — Voir *Notices biographiques pour l'Annuaire.*

Belgique. Voir *Nivellement.*

Botanique. Voir *Congrès; Fleurs, Flore.*

C

Calcium (Note au sujet du); par L. Henry, 994.

Calorique. Voir *Électricité.*

Cercle (Quadrature du); par I. Andion (lettre déposée aux archives), 85.

Chimie. Recherches sur la notion de l'individualité chimique à propos de la constitution de la pinacoline; par M. Delacre (*Mémoires* in-8° de la Classe des sciences, t. I); rapports de MM. Henry et Swarts, 865, 877; sur l'isomérisation (résumé du mémoire précédent); par Ch. Delacre, 950; Quelques observations sur le rapport précité de M. Swarts; par M. Delacre, 1023. — Sur le système carbo-azoté -C=N à soudure double; par L. Henry, 741. — Les lois des poids en chimie et la théorie atomique; par L. Henry, 975. — Voir *Acétol; Amines; Atome; Calcium; Chlorure; Dérivés; Déshydrata-*

tion; Éther; Fusibilité; Isopropanol; Mélanges; Réactions; Substitution; Sulfates; Uranium; Volatilité.

Chlorure de cobalt (Contribution à l'étude du); par W. Oechsner de Coninck, 803. — Note sur le chlorure de cobalt; par le même, 832. — Sur le tétrahydrate de chlorure de cobalt; par le même, 1170; rapports de M. Spring, 740, 748, 1137.

Circulation. Voir *Apnée.*

Climatothérapie. Voir *Congrès.*

Cobalt. Voir *Chlorure.*

Commission administrative. M. De Tilly élu délégué de la Classe pour 1904-1905, 805.

Commission de la Belgica. Hommage d'ouvrages, 83. — M. Éd. Van Beneden nommé président, 83.

Commission spéciale des finances. Réélection, 1172.

Composés carbonés. Voir *Volatilité.*

Concours. Voir *Prix.*

Concours. Envois de programmes : Wiskundig Genootschap, d'Amsterdam, 203. — Institut vénitien des sciences, des lettres et des arts, 860. — Académie de Stanislas, à Nancy, 972. — Cercle mathématique de Palerme (Prix Guccia), 1030.

Concours annuel :

1904. Programme, 206, 369. — Sans résultat, 860.

1905. Programme, 209.

Congrès des Sociétés savantes du nord de la France et de la Belgique. Réunion à Arras, 84.

Congrès français de climatothérapie. Réunion à Nice, 84.

Congrès international de botanique, à Vienne. Envoi de documents, 372. — M. Errera délégué avec droit de vote, 1126.

Congrès (VIe) international de zoologie, à Berne. MM. Van Bambeke, Pelseneer et A. Lameere délégués, 91, 813.

Coniques. Voir *Courbure.*

Cosmophysique. Le mécanisme synthétique des forces cosmiques; par Ch.-P. Devenyns (à l'examen), 735; lecture du rapport de MM. Lagrange et De Heen, 818.

Courbure (Sur la) des coniques et des cubiques gauches; par Ch. Servais (*Mémoires*). Rapport de MM. Neuberg et Mansion, 1131, 1133.

Cristallographie. Sur un caractère spécifique des minéraux opaques; par G. Cesàro, 115; avis de M. De Heen, 90. — Contribution à l'étude de quelques minéraux; par le même, 1198; avis de M. Dewalque, 1191. — Voir *Monazite.*

Cube. Duplicacion del cubo; par Aug. Mont (dépôt aux archives), 85.

Cubiques. Voir *Courbure.*

D

Décomposition (Sur la) de quelques sulfates acides à la suite

d'une déformation mécanique; par W. Spring, 290.

Densité. Essai de transformation en force motrice des différences de densité existant entre les gaz hydrogène et oxygène par rapport à l'eau; par M. Malvaut (à l'examen), 374; dépôt aux archives sur l'avis de M. De Heen, 454.

Dérivés. Sur quelques dérivés du nitrile glycolique NC - CH_2(OH); par L. Henry, 895. — Sur quelques dérivés chlorés des méthylals propylique et isopropylique; par Léon Stappers, 1161; rapport de MM. Henry et Spring, 1134, 1136.

Déshydratation de l'isodypnopinacoline α (Recherches sur la); par Égide Terlinck, 1049; rapports de MM Delacre et Henry, 1040, 1042.

Dissociation de la matière (Sur la); par le Dr Monier (dépôt aux archives sur la proposition de M. De Heen), 13.

Dissociation des corps dissous (Contribution à l'étude de la) (quatrième communication); par Ad. Vandenberghe (à l'examen), 205; lecture du rapport de MM. Spring et Henry, 375; renvoi du travail à l'auteur, 376; revision par l'auteur, 821; rapport de MM. Spring et Henry, 818, 862, 864.

Dons. Ouvrages imprimés : Albert Ier de Monaco (S. A. R. Mgr le prince), 373; Arctowski (H.), 1129; Barette (E.), 373; Bijl (E.), 1030, 1031; *Belgica* (Commission de la), 814; Blas (C.), 373; Boëns (J.), 973; Brachet (A.), 454, 973; Breydel (A.), 973; Bussy (P.), 973; Cesàro (G.), 973; Couturat (L.), 9; De Wildeman (Ém.), 734; D'Hollander (F.), 1031; Doudou (Ern.), 205; Duhem (P.), 373; Fiévez (Ch.), 205; Firket (Ad.), 973; Forir (H.), 205; Fraipont (J.), 814; Francotte (P.), 860; Fredericq (L.), 454; Gaudry (Alb.), 10; Gentil (L.), 734; Gillot (H.), 972; Guarini (E.), 10; Habets (A.), 205; Haeckel (E.), 454; Heger (P.), 454; Henry (L.), 84; Institut botanique de Bruxelles, 1129; Ioteyko (J.), 454, 1129; Karpinsky (A.), 373; Lancaster (A.), 373, 860; Léau (L.), 9; Lebeau (V.), 204; Lecointe (G.), 85; Lohest (Max), 204; Malaise (C.), 85; Mathieu (E.), 373; Mayer (L.), 734; Micheels (H.), 10, 814; Ministre de l'Instruction publique d'Italie, 1128; Ministre de l'Intérieur, 8, 83, 972; Moissan (H.), 204, 373, 1129; Mourlon (M.), 10, 204, 373; Neuberg (J.), 204; Nuel (Le Dr), 814; Pasquier (Ern.), 734; Pelseneer (P.), 1174; Rivière (Ém.), 10; Schuyten (M.-C.), 1129; Selys Longchamps (Marc de), 10; Simoens (G.), 973; Swaen (A.), 454; Van der Mensbrugghe, 454, 814; Van der Stricht, 1030; Zunz (Edg.), 734. — Ministre

des Cultes à Berlin : Plaquette commémorative du deux-centième anniversaire de l'Académie des sciences de Berlin, 972.

E

Élasticité (Sur l') développée dans les jets d'eau; par G. Van der Mensbrugghe, 401.

Élections, Nominations :

1903 (Décembre). MM. Jorissen, Francotte et Pelseneer élus membres titulaires (Approbation royale), 8; remerciements, 8, 82.

1904. M. le baron Descamps élu Président, 8.

1904 (Juin). MM. Swarts, Durand, Lohest et Massart élus correspondants; MM. Lenard et von Koenen élus associés, 805; remerciements, 813.

1904 (Décembre). M. Hugo de Vries élu associé, 1366.

1905. M. De Heen élu directeur, 11.

Électricité. Rotation d'un courant par lui-même; par P. De Heen, 409 — La théorie électromagnétique du calorique et le phénomène de Hall; par P. De Heen, 755. — Aperçus nouveaux sur la façon dont l'électricité statique se comporte dans les corps conducteurs en général et dans une sphère creuse en particulier; par J. Boëns (dépôt aux archives après avis de M. De Heen), 1191. — Voir *Acide stéarique; Physique.*

Électricité atmosphérique. (Création de stations pour observer l'électricité atmosphérique). Propositions à l'Association internationale des Académies, 84.

Ellipticité de l'orbite terrestre (Mémoire sur la recherche de la cause de l'); par E. Wattier (à l'examen), 735; lecture du rapport de MM. Lagrange et De Heen, 818.

Embryologie. Recherches sur le développement embryonnaire de l'appendice du premier segment abdominal chez *Tenebrio Molitor;* par Maurice de Selys Longchamps, 413; rapport de MM. Lameere et Van Beneden, 235, 236.

Enseignement. Voir *Paedologie.*

Ergographie (Les lois de l'). Étude physiologique et mathématique; par Mlle J. Ioteyko, 557; rapport de MM. Fredericq et Masius, 455, 457.

Espace. Voir *Géométrie.*

Éther (Sur l') amidé $(H_2N)CH_2-CH_2(OC_2H)$; par L. Henry, 984.

Éther (Sur l') méthylique de l'acétol; par L. Henry, 387.

Étoiles filantes. Observations des Léonides, faites à Boitsfort en 1904; par Ch. Fiévez, 1159; rapport de M. Terby, 1137, 1402. — Sur la fréquence des étoiles filantes du 14 novembre 1904; par F. Terby, 1157.

Évolution (L') des ornements

sexuels; par Aug. Lameere, 1327.

F

Faune et flore glaciaires du plateau de la Baraque-Michel (point culminant de l'Ardenne); par L. Fredericq, 1263.

Fleurs. Quelques expériences sur l'attraction des Abeilles par les fleurs; par Joséphine Wery, 1211; rapports de MM. Plateau et Errera, 1191, 1192.

Flexion. Voir *Résistance des matériaux*.

Flore et faune glaciaires du plateau de la Baraque-Michel (point culminant de l'Ardenne); par L. Fredericq, 1263.

Fonction. Sur la fonction gamma double (revision à l'examen); par J. Beaupain (*Mémoires*). Rapports de MM. Ch.-J. de la Vallée Poussin, Deruyts et Mansion, 889, 894.

Force motrice. Voir *Densité*.

Forces cosmiques. Voir *Cosmophysique*.

Fusibilité (Sur la) dans la série des glycols normaux bi-primaires $(HO)CH^2 - (CH^2)_n - CH^2(OH)$; par L. Henry, 1142.

G

Gaz. Sur la texture gyrostatique et fibreuse des gaz; par P. De Heen, 69. — Voir *Densité*.

Géodésie. Voir *Géologie* (Vœu exprimé par le Congrès géologique de Vienne); *Nivellement*.

Géographie zoologique. La « Ligne de Weber », limite zoologique de l'Asie et de l'Australie; par P. Pelseneer, 1001. — Note sur le même sujet, par Aug. Lameere, 1022.

Géologie. Adoption d'un vœu exprimé par le Congrès géologique de Vienne à l'effet de définir les branches des recherches géologiques pour lesquelles la coopération internationale est désirable. Rapports de MM. Dewalque, Mourlon et Lancaster, 376, 380, 382. — Voir *Cristallographie; Faune; Flore; Mammouth; Monazite; Roche*.

Géométrie. Sur une démonstration du Postulatum d'Euclide (La Métagéométrie et l'Infiniment petit absolu); par Ch. Lagrange, 26. — La droite plus courte distance et le carré de l'hypothénuse (Une erreur de méthode dans la géométrie élémentaire; la notion de direction et sa nécessité); par Ch. Lagrange, 458. — Sur la raison pour laquelle le nombre des dimensions de l'Espace est le nombre 3 (L'Espace est la réalisation des lois de la grandeur abstraite); par Ch. Lagrange, 489. — Géométrie euclidienne, livre Ier : Théorie des parallèles; par Ch. Michaux (à l'examen), 85; dépôt aux archives après lecture des rapports de MM. Neu-

berg et Mansion, 225. — Voir *Analyse; Angles; Courbure; Surfaces.*

Géophysique. Voir *Physique; Sismologie.*

Glycols. Voir *Fusibilité.*

I

Imprégnation des roches (Note sur les modes d'); par P. De Heen, 63.

Infiniment petit. Voir *Analyse; Géométrie; Résistance des matériaux.*

Intégrales. Sur une intégrale considérée en calcul des probabilités; par P. Mansion, 239. — Sur une sommation d'intégrales considérées en calcul des probabilités; par le même, 538.

Invariants intégraux (Application nouvelle des), notes I, II; par Th. De Donder (*Mémoires* in-8° de la Classe des sciences, t. I). Rapports de MM. Ch.-J. de la Vallée Poussin, Mansion et J. Deruyts, 737, 739, 1133, 1134.

Ion (Une interprétation du mécanisme de l'); par P. De Heen, 237.

Isodypnopinacoline α. Voir *Déshydratation.*

Isomérisation. Voir *Chimie.*

Isopropanol (Sur l') trichloré 1.1.1 $Cl_3C-CH(OH)-CH_3$; par Ed. Vitoria, S. J., 1087; rapport de MM. Henry et Spring, 1042, 1046.

J

Jets d'eau. Voir *Élasticité.*

Jubilés. Cinquantième anniversaire de fondation de l'Université de l'État de Wisconsin (Invitation), 84.

Soixante-dixième anniversaire du professeur Haeckel (félicitations), 203.

Centenaire de la Société royale asiatique (Branche de Bombay). Célébration, 372.

Cinquantenaire de la nomination de M. Dewalque à l'Académie (paroles prononcées par M. L. Fredericq), 1173.

K

Kowalewsky (*A.-O*). (Création d'un fonds destiné à une entreprise qui portera ce nom). Appel fait à cette fin, 9.

L

Langue internationale. Histoire de la langue universelle (L. Couturat et L. Léau); note de M. J. De Tilly, appuyée par M. Mourlon, 89. — Proposition de MM. De Tilly et Errera au sujet de l'emploi d'une langue auxiliaire, 90.—Le latin sans flexion de Peano comme langue internationale auxiliaire de l'avenir; par P. Mansion, 254. — Quelques mots sur la langue universelle; par G. Dewalque, 399.

Latitudes. Dernière réplique à M. Ch. Lagrange; par F. Folie, 71. — Détermination de la latitude de l'Observatoire royal de

Belgique à Uccle et recherches des variations apparentes de la latitude (E. Bijl); note par F. Folie, 1031.

Léonides. Voir *Étoiles filantes*.

Libration terrestre. Un fait physique nouveau d'une importance capitale pour la géophysique et l'astronomie sphérique; par F. Folie, 382. — Preuve physique de la libration terrestre; par le même, 941. — Première détermination des constantes de la libration terrestre; par F. Folie, 1193.

Ligne de Weber. Voir *Géographie zoologique*.

Limite (Principe de la). Voir *Analyse*.

Linguistique. Voir *Langue internationale*.

Lune. Sur une des causes de l'accélération séculaire du mouvement de la Lune; par A. Jouveneau (à l'examen), 374; lecture du rapport de MM. Lagrange et Le Paige, 818.

M

Mammouth (A propos du gisement de) de Meerdegat (Alken), près de Hasselt; par Michel Mourlon, 1046.

Matériaux (Résistance des). Voir *Résistance*.

Mathématiques. Voir *Analyse; Astronomie; Ergographie; Fonction; Géométrie; Intégrales; Invariants; Série*.

Matière. Le mécanisme gyrostatique de la matière dans ses divers états et le cycle évolutif de l'Univers; par P. De Heen, 265. — Voir *Dissociation; Phosphorescence*.

Mécanique. Note rectificative au sujet d'un travail sur le radium; par Ch. Lagrange, 907. — Voir *Forces*.

Mécanique céleste. Voir *Analyse; Astronomie; Libration terrestre*.

Médecine. Voir *Acide formique*.

Mélanges. Une contribution à l'étude des propriétés des mélanges : le point de fusion de quelques mélanges de sucres; par H. Gillot, 834; rapport de M. Spring, 819.

Météorites. Demande de renseignements par le Dr Gustave Hinrichs en vue de la publication de son catalogue de météorites, 815. — Voir *Étoiles filantes*.

Minéralogie. Sur un caractère spécifique des minéraux opaques; par G. Cesàro, 115; avis de M. De Heen, 90. — Contribution à l'étude de quelques minéraux; par G. Cesàro, 1198; avis de M. Dewalque, 1191.

Monazite. Sur la monazite et le xénotime de Nil-Saint-Vincent (Brabant); par W. Prinz, 313; rapports de MM. G. Cesàro et Malaise, 226, 234.

Mystères. Eleusinia. De quelques problèmes relatifs aux Mystères d'Eleusis (Cte Goblet d'Alviella); note par l'auteur, 74.

N

Nécrologe. Laurent (Ém.), 202; Marey (Ét.-Jules), 734; Renault (B.), 1030; Salmon (G.), 82; Zittel (Ch.-Alfr. von), 82.

Nil-Saint-Vincent (Brabant). Voir *Monazite.*

Nivellement (Le) de précision de la Belgique. Rectification; par G. Dewalque, 820.

Notices biographiques pour l'Annuaire. J. Delbœuf; par Alfr. Gilkinet, 203.

O

Observatoire royal de Belgique (Latitude de l'). Voir *Latitude.*

Ornements sexuels. Voir *Évolution.*

Ouvrages présentés. Janvier, 77; février, 199; mars, 365; avril, 450; mai, 727; juin, 806; juillet, 855; août, 969; octobre, 1026; novembre, 1124; décembre, 1366.

P

Paléontologie. Voir *Faune; Flore; Mammouth.*

Pédologie. Paedologisch jaarboek der stad Antwerpen, 5e jaargang (SCHUYTEN); note par Ch. Van Bambeke, 1129.

Phosphorescence (Le phénomène de la) et la genèse de la matière; par P. De Heen, 1149.

Physiologie. Le faisceau musculaire interauriculo-ventriculaire (lien physiologique entre les oreillettes et les ventricules du cœur); par Humblet, 802; rapport verbal de M. Fredericq, 737. — Voir *Absorption; Apnée; Ergographie; Respiration; Vision.*

Physique. Note sur la signification de l'expérience de Rowland; par P. De Heen, 1155. — Voir *Densité; Élasticité; Électricité; Gaz; Imprégnation; Ion; Libration terrestre; Matière; Univers; Zéro absolu.*

Pinacoline. Voir *Chimie; Déshydratation.*

Poids (Lois des). — Voir *Chimie.*

Prix. Voir *Concours.*

Prix Maurice Bufalini (Philosophie expérimentale). M. le Ministre de l'Intérieur envoie le programme, 83.

Prix de la Belgica. Arrêté royal instituant ce Prix, 372.

Prix de Selys Longchamps (Faune belge). **1901-1906** (1re période). Programme, 220.

Prix Gluge (Physiologie). **1903-1904** (2e période). Règlement, 222.

Prix Guccia. Envoi du programme, 1030.

Prix Herpin. Programme, 972.

Prix Charles Lagrange (Physique mathématique du globe). **1901-1904** (1re période). Programme, 217.

Prix Charles Lemaire (Travaux publics). **1903-1905** (7e période). Programme, 213.

Prix Mailly (Astronomie). **1900-1903** (3e période). Ouvrages reçus et désignation des commissaires, 11. — Rapports de MM. Folie, Lagrange et Le Paige, 1175, 1180, 1183; proclamation, 1362.

Prix Louis Melsens (Chimie ou physique appliquées). **1900-1904** (1re période). Programme, 214. — Cours de chimie, soumis par Ch. Puttemans, 816. — Rapport de MM. Spring, Henry et De Heen, 1189. — Proclamation, 1362.

Prix Nobel. Distribution solennelle, le 10 décembre 1904, 8.

Prix Stas. **1904.** Non décerné, 1126.

Prix décennal de mathématiques pures (1re période). Liste de dix noms pour le choix du jury, 12.

Probabilités (Calcul des). Voir *Analyse; Intégrales.*

Propeptone. Voir *Absorption; Respiration.*

Publications de l'Académie. Arrêté royal apportant des modifications aux Statuts et Règlement général (Nouvelle série de mémoires), 810. — Voir *Annuaire.*

R

Radium. Voir *Mécanique.*

Réactions (Sur quelques) de sels uraneux et manganeux; par W. Oechsner de Coninck, 360; rapport de M. Spring, 238.

Résistance des matériaux. L'Infiniment petit absolu et le problème de la flexion debout (Un chapitre de science appliquée mise au point par l'Infiniment petit fixe); par Ch. Lagrange, 907.

Respiration. Deuxième note au sujet de la respiration périodique et des courbes vasomotrices chez le chien propeptoné; par P. Nolf, 147; rapport de MM. Masius et Fredericq, 98, 99.

Roche. Sur la roche kératophyrique de Grand-Coo (E. Mathieu); note par C. Malaise, 374. — Voir *Imprégnation.*

S

Sodium. Voir *Synthèse.*

Sels. Voir *Réactions.*

Série de Lagrange (Sur la) et ses applications; par F. Gomes Teixeira (*Mémoires* in-4o de la Classe des sciences, t. I). Rapports de MM. Ch.-J. de la Vallée Poussin, Mansion et Deruyts, 90, 95.

Sismologie. Proposition à l'Association des Académies d'établir des stations sismologiques, 204; rapports de MM. Dewalque, Mourlon et Lancaster, 376, 380, 382. — Décisions prises par la Commission instituée, 1126.

Station zoologique de Naples. M. Julin demande à pouvoir

occuper, en 1904, la table réservée à la Belgique. Lecture des rapports de MM. Van Beneden, Van Bambeke et Plateau, 12. — Mêmes demandes, pour 1905, adressées par MM. A. Falloise et Marc de Selys Longchamps, 1174.

Statuts et Règlement de l'Académie. Voir *Publications*.

Substitution métallique (Recherches sur la) (deuxième communication); par A.-J.-J. Vandevelde et C.-F. Wasteels, 331; rapport de MM. Spring et De Heen, 237, 238.

Sucres. Voir *Mélanges*.

Sulfates. Sur la décomposition de quelques sulfates acides à la suite d'une déformation mécanique; par W. Spring, 290. — Synthèse de sulfates par le procédé Spring; par W. Oechsner de Coninck, 833. — Synthèse d'un sulfate double de sodium et d'uranyle; par le même, 1171; rapports de M. Spring, 818, 1137.

Surfaces du second ordre (Sur les faisceaux de); par Clém. Servais (l'auteur est autorisé à reviser son travail), 85, 205; avis de M. Neuberg, 375.

Synthèse. Voir *Sulfates*.

T

Tenebrio Molitor. Voir *Embryologie*.

Thermomètre à graduation mathématique (Essai d'un); par L. Gadeaux (dépôt aux archives après avis de M. Lancaster), 974.

U

Univers (Cycle évolutif de l'). — Voir *Matière*.

Uranium. Sur les oxydes et sur le carbonate d'uranium; par W. Oechsner de Coninck, 363; rapport de M. Spring, 238. — Quelques observations nouvelles sur les oxydes d'uranium; par le même, 448; rapport de M. Spring, 376.

Uranyle. Voir *Sulfates*.

V

Vision (La); par J.-P. Noel. Note sur ce volume, par L. Fredericq, 817.

Volatilité (Recherches sur la) dans les composés carbonés; par L. Henry, 42.

X

Xénotime. Voir *Monazite*.

Z

Zéro absolu (Conception nouvelle du); par P. De Heen, 66, 995

Zoologie. Photographie de seize feuillets d'un manuscrit de 1460; note par P. Francotte, 861. — Voir *Congrès; Faune; Géographie zoologique; Mammouth; Station zoologique de Naples*.

TABLE DES PLANCHES ET DES FIGURES.

Cesàro (G.). Rapport sur le travail de W. Prinz : La monazite et le xénotime de Nil-Saint-Vincent (Brabant) (1 figure), 228.

Contribution à l'étude de quelques minéraux (4 figures), 1200, 1204, 1207, 1209.

De Heen (P.). Note sur les modes d'imprégnation des roches (1 figure), 64.

Une interprétation du mécanisme de l'ion (6 figures), 258, 259, 261, 263, 264.

Le mécanisme gyrostatique de la matière dans ses divers états et le cycle évolutif de l'Univers (12 figures), 265-280.

Nouvelle conception de l'atome chimique (4 figures), 287, 288.

Rotation d'un courant par lui-même (2 figures), 410, 412

La théorie électromagnétique du calorique et le phénomène de Hall (5 figures), 757, 758, 759, 761.

Le phénomène de la phosphorescence et la genèse de la matière (1 figure), 1153.

Folie (F.). Un fait physique nouveau, d'une importance capitale pour la géophysique et l'astronomie sphérique (1 diagramme), 384.

Preuve physique de la libration terrestre (1 planche), 948.

Fredericq (L.). La faune et la flore glaciaires de la Baraque-Michel (point culminant de l'Ardenne) (6 figures), 1270, 1271, 1281, 1305, 1308, 1309.

Gillot (H.). Une contribution à l'étude des propriétés des mélanges : le point de fusion de quelques mélanges de sucres (2 graphiques), 854.

Hemptinne (A. de). Sur la synthèse de l'acide stéarique par les décharges électriques (2 figures), 552.

Hougardy (Ant.). Sur les modifications subies par les solutions de soude injectées dans le torrent circulatoire et la cause de l'apnée (2 figures), 139, 142.

Ioteyko (Mlle J.). Les lois de l'ergographie. Étude physiologique et mathématique (11 figures et 4 planches), 575, 577, 584, 608, 610, 627, 649, 659, 660, 673, 722, 726.

Lagrange (Ch.). Sur une démons-

tration du Postulatum d'Euclide (La Métagéométrie et l'Infiniment petit absolu) (1 figure), 26.

La droite plus courte distance et le carré de l'hypothénuse (Une erreur de méthode dans la géométrie élémentaire; la notion de direction et sa nécessité) (4 figures), 471, 472, 475, 479.

Résistance des matériaux. L'Infiniment petit absolu et le problème de la flexion debout (Un chapitre de science appliquée mis au point par l'Infiniment petit fixe) (1 figure), 911.

Le principe de la limite conduit, dans des problèmes classiques, aux relations absurdes $1 = \frac{1}{2}$ et $1 = 0$ (Ce que serait un Traité de probabilités fondé sur le seul principe de la limite) (2 figures), 924, 928.

NOLF (P.). Deuxième note au sujet de la respiration périodique et des courbes vaso-motrices chez le chien propeptoné (2 figures), 152.

PELSENEER (P.). La « Ligne de Weber », limite zoologique de l'Asie et de l'Australie (1 carte), 1022.

PRINZ (W.). Sur la monazite et le xénotime de Nil-Saint-Vincent (Brabant) (5 figures), 317, 318, 326, 327, 329.

SELYS LONGCHAMPS (MAURICE DE). Recherches sur le développement embryonnaire de l'appendice du premier segment abdominal chez TENEBRIO MOLITOR (1 figure et 1 planche), 424, 446.

STAPPERS (L.). Sur quelques dérivés chlorés des méthylals propylique et isopropylique (1 fig.), 1168.

ERRATA.

P. 232, ligne 11 (en remontant), au lieu de *centimètre* lisez *centième*.
P. 1137, ligne 7 (en remontant), au lieu de *conclut* lisez *avait conclu*.

Made in Italy

11-13 STD

www.colibrisystem.com

UNIVERSITY OF ILLINOIS-URBANA
3 0112 059460086